РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

(19) **RU** (11) **2 822 084**(13) **C1**

(51) МПК
B06B 1/06 (2006.01)

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК
B06B 1/06 (2024.01)

(21)(22) Заявка: **2024107663, 22.03.2024**

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
22.03.2024

Дата регистрации:
01.07.2024

Приоритет(ы):
(22) Дата подачи заявки: **22.03.2024**

(45) Опубликовано: **01.07.2024** Бюл. № **19**

Адрес для переписки:
659305, Алтайский край, г. Бийск, ул. Героя Советского Союза Трофимова, 27, корп. Б, к. 101/1, ООО "Центр ультразвуковых технологий"

(72) Автор(ы):
Хмелёв Владимир Николаевич (RU),
Шалунов Андрей Викторович (RU),
Нестеров Виктор Александрович (RU),
Цыганок Сергей Николаевич (RU),
Терентьев Сергей Александрович (RU),
Синкин Александр Андреевич (RU)

(73) Патентообладатель(и):
Общество с ограниченной ответственностью "Центр ультразвуковых технологий" (RU)

(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: **RU 132000 U1, 10.09.2013. RU 2744826 C1, 16.03.2021. JP 2020178336 A, 29.10.2020. JP 2021093580 A, 17.06.2021. Хмелев В. Н., Нестеров В. А., Шалунов А. В. КОЛЬЦЕВЫЕ УЛЬТРАЗВУКОВЫЕ ИЗЛУЧАТЕЛИ ДЛЯ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ГАЗОВЫЕ СРЕДЫ //ИЗМЕРЕНИЯ, АВТОМАТИЗАЦИЯ И МОДЕЛИРОВАНИЕ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ И НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЯХ (ИАМП-2021). - 2021. - С. 49-51. Хмелев** (см. прод.)

(54) Ультразвуковая колебательная система для газовых сред

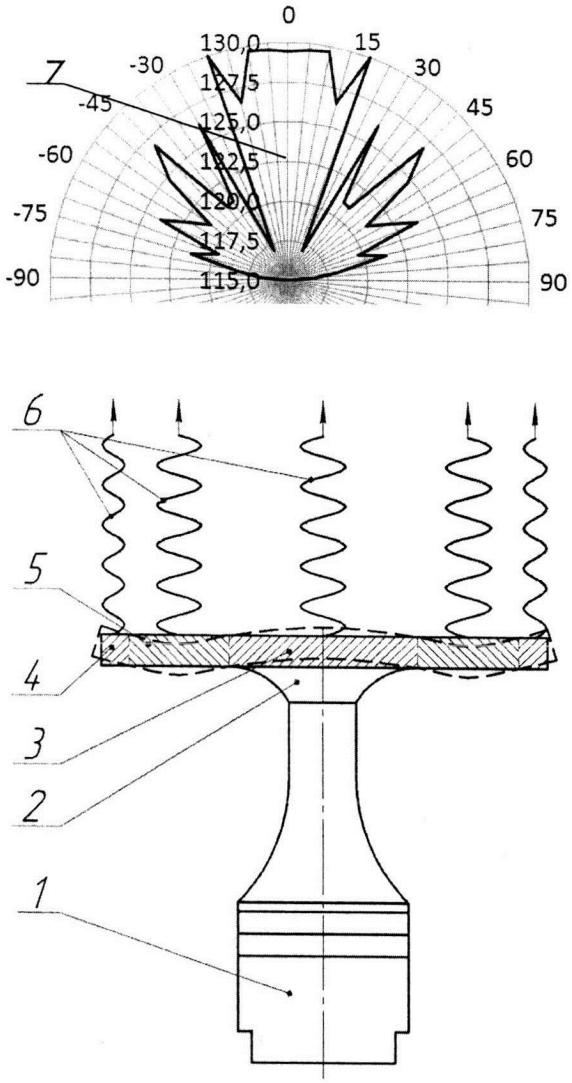
(57) Реферат:

Изобретение относится к акустике. Ультразвуковая колебательная система для газовых сред состоит из последовательно расположенных и акустически связанных между собой продольно колеблющегося пьезоэлектрического преобразователя и излучателя УЗ колебаний в газовую среду в виде диска, выполненного из металла, геометрические размеры которого выбраны из условия формирования изгибных колебаний на рабочей частоте, соответствующей собственной резонансной частоте пьезоэлектрического преобразователя и кратной основной частоте дискового излучателя, со стороны поверхности дискового излучателя, противоположной соединению с пьезоэлектрическим преобразователем, на расстоянии менее четверти длины волны УЗ колебаний в газовой среде на основной частоте формируемых пьезопреобразователем УЗ колебаний размещены рупора, выполненные в виде кольцевых расходящихся усеченных конусов, с углом раствора 90 градусов, со стороны соединения дискового излучателя с пьезопреобразователем размещен отражатель ультразвуковых колебаний, выполненный в виде двух концентрически расположенных усеченных конусов с углом раствора, равным 90 градусов, конусы соединены

RU 2822084 C1

RU 2822084 C1

между собой и прикреплены в месте соединения к корпусу пьезопреобразователя. Технический результат – создание ультразвуковых колебаний высокой интенсивности в газовых средах. 3 ил.



Конструктивная схема ультразвуковой колебательной системы для газовых сред и диаграмма ее направленности

Фиг.1

(56) (продолжение):
В. Н. и др. ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ ИЗЛУЧАТЕЛЕЙ ДЛЯ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ГАЗОВЫЕ СРЕДЫ //ИЗМЕРЕНИЯ, АВТОМАТИЗАЦИЯ И МОДЕЛИРОВАНИЕ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ И НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЯХ (ИАМП-2021). - 2021. - С. 52-54. CN 208786852 U, 26.04.2019. US 11521590 B2, 06.12.2022. US 3027964 A, 24.06.1958. SU 1397089 A, 23.05.1988. Лекции по ультразвуку, ультразвуковым аппаратам и ультразвуковым технологиям. Лекция 12. Решение проблем коагуляции при добыче воды из грунтов в условиях внеземных объектов //URL: https://u-sonic.ru/downloads/lecUZ/ru12.pdf 21.11.2023..

RU 2822084 C1

RU 2822084 C1

RUSSIAN FEDERATION

FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(19) **RU** (11) **2 822 084**(13) **C1**

(51) Int. Cl.
B06B 1/06 (2006.01)

(12) ABSTRACT OF INVENTION

(52) CPC
B06B 1/06 (2024.01)

(21)(22) Application: **2024107663, 22.03.2024**

(24) Effective date for property rights:
22.03.2024

Registration date:
01.07.2024

Priority:
(22) Date of filing: **22.03.2024**

(45) Date of publication: **01.07.2024** Bull. № **19**

Mail address:
659305, Altajskij kraj, g. Bijsk, ul. Geroya Sovetskogo Soyuza Trofimova, 27, korp. B, k. 101/1, OOO "Tsentr ultrazvukovykh tekhnologij"

(72) Inventor(s):
Khmelev Vladimir Nikolaevich (RU),
Shalunov Andrej Viktorovich (RU),
Nesterov Viktor Aleksandrovich (RU),
Tsyganok Sergej Nikolaevich (RU),
Terentev Sergej Aleksandrovich (RU),
Sinkin Aleksandr Andreevich (RU)

(73) Proprietor(s):
Obshchestvo s ogranichennoj otvetstvennostyu "Tsentr ultrazvukovykh tekhnologij" (RU)

RU 2822084 C1

(54) ULTRASONIC OSCILLATING SYSTEM FOR GASEOUS MEDIA

(57) Abstract:

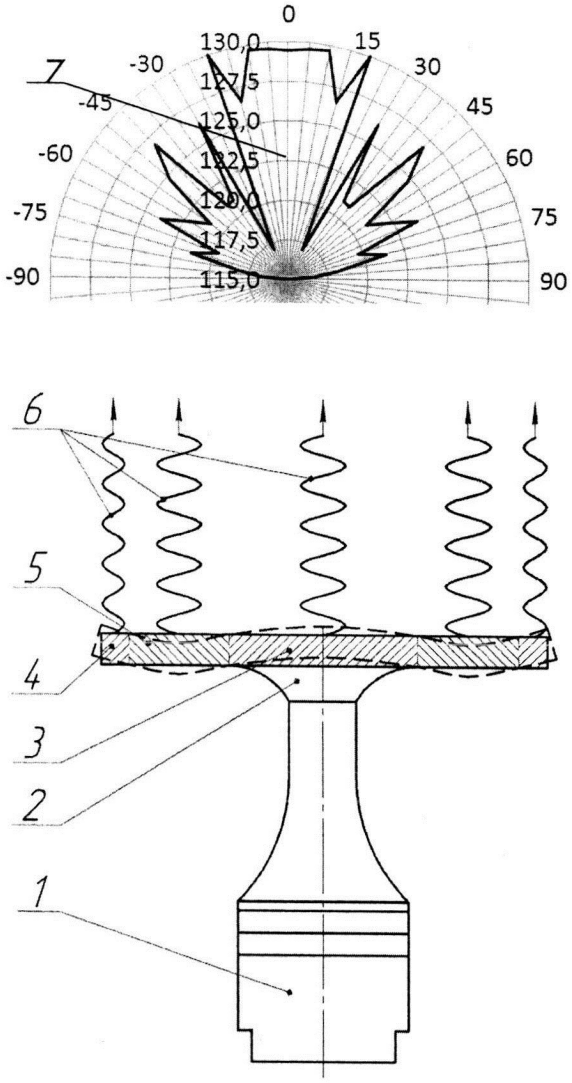
FIELD: acoustics.

SUBSTANCE: ultrasonic oscillating system for gaseous media consists of series-arranged and acoustically connected to each other longitudinally oscillating piezoelectric transducer and an ultrasonic oscillation emitter into a gas medium in the form of a disc made of metal, the geometric dimensions of which are selected from the condition for the formation of bending vibrations at operating frequency corresponding to natural resonance frequency of piezoelectric transducer and multiple of fundamental frequency of disk radiator, on the side of the disc radiator surface, opposite to the connection with the piezoelectric transducer, at a distance of less than a quarter of the wavelength of ultrasonic oscillations in a gas medium at the fundamental frequency of the ultrasound oscillations formed by the piezoelectric transducer, horns are placed, made in the form of annular diverging truncated cones, with an opening angle of 90 degrees, on the side of the disc radiator connection with the piezoelectric transducer, an ultrasonic oscillation reflector is placed, made in the form of two concentrically located truncated cones with an opening angle of 90 degrees, cones are connected to each other and attached to the piezoelectric transducer housing at the connection point.

EFFECT: creation of ultrasonic vibrations of high intensity in gaseous media.

1 cl, 3 dwg

RU 2822084 C1



Конструктивная схема ультразвуковой колебательной системы для газовых сред и диаграмма ее направленности

Фиг.1

RU 2822084 C1

RU 2822084 C1

Изобретение относится к области техники воздействия ультразвуковыми колебаниями (УЗ) на газовые среды и объекты в газовых средах, а именно к устройствам получения механических колебаний ультразвуковой частоты, предназначенным для интенсификации процессов очистки газовых выбросов вредных веществ промышленных предприятий, улавливания продуктов, получаемых в мелкодисперсном состоянии для возвращения в производственный цикл, низкотемпературного удаления влаги из термолабильных, горючих и взрывоопасных материалов, пеногашения и реализации аналогичных процессов в газовых средах, а также для передачи на большие расстояния информации в ультразвуковом (неслышимом человеком) диапазоне частот, применения в системах контроля и охранной сигнализации.

Требования современных производств по повышению эффективности, уменьшению энергоемкости, увеличению скорости различных технологических процессов в газовых средах обуславливают необходимость поиска новых эффективных способов их интенсификации.

Одним из перспективных способов интенсификации процессов является применение колебаний ультразвуковой частоты с высоким уровнем звукового давления (до 150…170 дБ) [1].

Эффективность воздействия ультразвуковыми колебаниями высокой интенсивности на различные технологические процессы в газовых средах подтверждена многочисленными исследованиями [2-5], позволившими установить следующее:

1. Использование ультразвуковых колебаний с уровнем звукового давления более 150 дБ (высокой интенсивности) для очистки промышленных отходящих газов (в частности, для улавливания и осаждения готового продукта) позволяет увеличить эффективность пылеулавливающих установок и довести ее значение до 93-97% без применения электростатических или рукавных фильтров.

2. Применение ультразвуковых колебаний с уровнем звукового давления более 150 дБ (высокой интенсивности) эффективно для осаждения аэрозолей природного происхождения и при аэрозольном загрязнении атмосферы, для осаждения техногенных аэрозолей, образующихся при взрывах, а также для рассеиванья туманов над взлетно-посадочными полосами аэропортов, акваториями морских и речных портов, над автомагистралями.

3. Высокая эффективность удаления влаги без повышения температуры при сушке в ультразвуковом поле позволяет повысить качество конечного продукта, увеличить скорость процесса и снизить энергопотребление. Кроме того, воздействие ультразвуковыми колебаниями с высоким уровнем звукового давления (более 130…150 дБ) благоприятно сказывается на физико-химических и потребительских свойствах высушиваемого продукта (сохраняет вкусовые качества продукции, увеличивает срок хранения и всхожесть семян и др.).

4. Применение ультразвуковых колебаний с высоким уровнем звукового давления (более 150…160 дБ) для пеногашения исключает применение химических реагентов, а также контакт с разрушаемой пеной, что позволяет обеспечить стерильность конечного продукта. Кроме того использование ультразвуковых колебаний с высоким уровнем звукового давления в волне для гашения пен легковоспламеняющихся жидкостей иногда является единственно возможным способом их устранения.

5. Применение ультразвуковых колебаний с высоким уровнем звукового давления (более 150 дБ) обеспечивает максимально возможную эффективность (минимальные энергозатраты) и конфиденциальность (диапазон частот не слышимый человеческим ухом) передачи информации на значительные расстояния (более 100…1000 м) без

использования специальных приемных устройств (детектирование осуществляется за счет свойств среды - воздуха) и каналов связи.

Во всех случаях реализация процессов обеспечивается применением источников ультразвукового воздействия - ультразвуковых колебательных систем для газовых сред. При создании таких систем решается ряд сложных задач, обусловленных тем, что газовые среды имеют низкий акустический импеданс и высокий коэффициент поглощения ультразвука. Для обеспечения эффективного излучения УЗ колебаний (передачи энергии) в газовые среды необходимо, чтобы импедансы (волновые сопротивления) излучателя и газовой среды были максимально согласованы, а для этого необходимо добиваться максимального уровня перепада давления в ультразвуковой волне, т.е. максимально высокой амплитуды колебаний излучателя и узкой направленности излучения (диаграммы направленности).

Наиболее широкое распространение для интенсификации процессов в различных технологических средах получили пьезоэлектрические ультразвуковые колебательные системы. Однако необходимое для осуществления процессов в газовых средах ультразвуковое воздействие с уровнем звукового давления более 150 дБ невозможно обеспечить классическими пьезоэлектрическими ультразвуковыми колебательными системами. Это ограничивает возможности промышленного применения ультразвука в газовых средах и обуславливает необходимость создания новых устройств, основанных на более эффективном принципе создания высокоинтенсивных УЗ колебаний.

Среди известных пьезоэлектрических ультразвуковых колебательных систем [6-10], предназначенных для интенсификации технологических процессов в газовых средах, наиболее близкой к предлагаемой, по конструкции и технической сущности, является ультразвуковая колебательная система по патенту [11], принятая за прототип.

Ультразвуковая колебательная система для газовых сред, принятая за прототип, состоит из последовательно расположенных и акустически связанных между собой продольно колеблющегося пьезоэлектрического преобразователя и излучателя УЗ колебаний в газовую среду в виде диска, выполненного из металла, геометрические размеры которого выбраны из условия формирования изгибных колебаний на рабочей частоте, соответствующей собственной резонансной частоте пьезоэлектрического преобразователя и кратной основной частоте дискового излучателя.

Для эффективной генерации ультразвуковых колебаний в газовых средах излучатель выполняется в виде металлического диска, способного совершать изгибные колебания на частотах, кратных основной частоте излучателя. Выбор в качестве используемого металла титановых сплавов обеспечивает максимальную прочность конструкции. Пьезоэлектрический преобразователь выполнен по известной схеме преобразователя Ланжевена и состоит из последовательно размещенных и акустически связанных отражающей частотно-понижающей накладки цилиндрической формы, пьезоэлектрических элементов и рабочей частотно-понижающей накладки, которая может выполняться с переменным диаметром (концентратор) для обеспечения усиления УЗ колебаний, создаваемых пьезоэлементами. Пьезоэлектрический преобразователь совершает продольные колебания на резонансной частоте, определяемой продольным размером (длиной) всей конструкции. Продольные колебания, поступающие на излучатель, преобразуются в изгибные колебания, которые излучаются в газовую среду.

Основные недостатки прототипа заключаются в следующем: 1. Известная ультразвуковая колебательная система практически непригодна для технологических целей, поскольку не способна обеспечить высокую эффективность УЗ воздействия. Это вызвано тем, что при изгибных колебаниях диска постоянного сечения, соседние участки

колеблются в противофазе, т.е. центральная зона дискового излучателя определенного диаметра (определяемого толщиной и свойствами металла) колеблется с фазой, совпадающей с фазой колебаний преобразователя, следующая кольцевая зона дискового излучателя колеблется с противоположной фазой на основной частоте преобразователя, причем каждая последующая нечетная кольцевая зона колеблется с соответствующей преобразователю фазой, а каждая последующая четная кольцевая зона колеблется с противоположной преобразователю фазой.

Благодаря этому свойству изгибно-колеблющегося излучателя излучение соседних зон, создающих колебания с противоположными фазами, на некотором расстоянии от излучателя компенсируется и не может обеспечить требуемого ультразвукового воздействия на обрабатываемые объекты.

Практически, это приводит к невозможности формирования уже на расстоянии 1 м от излучателя ультразвуковых колебаний с уровнем звукового давления более 130 дБ;

2. Известная ультразвуковая колебательная система практически непригодна для передачи колебаний на значительные расстояния, поскольку обеспечивает формирование очень широкой диаграммы (характеристики) направленности. Происходит это потому, что излучение соседних зон происходит с противоположными фазами и на некотором расстоянии от излучателя компенсируется. Поэтому известная ультразвуковая колебательная система характеризуется очень широкой диаграммой направленности (более 15…30 градусов) и большим количеством формируемых боковых лепестков диаграммы направленности (формируемых излучением колеблющихся с различными фазами кольцевых зон).

3. При попытках увеличить амплитуду колебаний излучателя за счет увеличения амплитуды колебаний преобразователя для формирования ультразвуковых колебаний с уровнем звукового давления более 130 дБ происходит разрушение металла в местах максимума возникающих механических напряжений (между зонами, колеблющимися в противофазе), что приводит к выходу излучателя из строя.

Таким образом, устройство, принятое за прототип, не позволяет формировать ультразвуковые колебания с уровнем звукового давления более 130 дБ, обеспечивать их распространение на большие расстояния для интенсификации технологических процессов в газовых средах с максимально возможной эффективностью, в максимально возможных объемах и на максимально возможных расстояниях от излучателя.

В предлагаемой ультразвуковой колебательной системе для газовых сред, состоящей из последовательно расположенных и акустически связанных между собой продольно колеблющегося пьезоэлектрического преобразователя и излучателя УЗ колебаний в газовую среду в виде диска, выполненного из металла, геометрические размеры которого выбраны из условия формирования изгибных колебаний на рабочей частоте, соответствующей собственной резонансной частоте пьезоэлектрического преобразователя и кратной основной частоте дискового излучателя со стороны поверхности, дискового излучателя, противоположной соединению с пьезоэлектрическим преобразователем, на расстоянии менее четверти длины волны УЗ колебаний в газовой среде на основной частоте формируемых пьезопреобразователем УЗ колебаний размещены рупора, выполненные в виде кольцевых расходящихся усеченных конусов, с углом раствора 90 градусов, причем диаметр меньшего основания центрального конуса и каждого последующего нечетного конуса соответствует диаметру поверхности дискового излучателя, колеблющегося с фазой, совпадающей с фазой колебаний преобразователя и увеличивается до диаметра, соответствующего максимальному диаметру кольцевой зоны дискового излучателя, колеблющейся с противоположной

фазой на основной частоте преобразователя, следующий за центральным и каждый последующий четный кольцевой расходящийся усеченный конус, расположенный над зоной, колеблющейся с противоположной преобразователю фазой имеет диаметр меньшего основания у поверхности дискового излучателя, соответствующий диаметру зоны дискового излучателя, колеблющегося с противоположной фазой на основной частоте преобразователя, увеличенный на половину длины волны УЗ колебаний в газовой среде и увеличивается до диаметра, соответствующего максимальному диаметру следующей кольцевой зоны поверхности дискового излучателя, колеблющейся с фазой, противоположной фазе преобразователя, со стороны соединения дискового излучателя с пьезопреобразователем, на расстоянии менее четверти длины волны УЗ колебаний в газовой среде размещен отражатель ультразвуковых колебаний, выполненный в виде двух концентрически расположенных усеченных конусов с углом раствора, равным 90 градусов, конусы соединены между собой и прикреплены в месте соединения к корпусу пьезопреобразователя.

В предлагаемом устройстве задача повышения эффективности УЗ колебательной системы, предназначенной для реализации технологических процессов в газовых средах обеспечивается за счет:

- использования в качестве излучателя диска, совершающего изгибные колебания (обеспечивающих максимально возможный выход энергии УЗ колебаний, поскольку волновое сопротивление изгибно-колеблющегося излучателя лучше, чем продольно колеблющегося, согласуется с волновым сопротивлением газовой среды), размещения перед излучающими поверхностями рупоров, выполненных и расположенных таким образом, что на выходе из них формируются колебания с одинаковой фазой. Таким образом, излучение изгибно-колеблющегося излучателя фактически преобразуется в излучение продольно колеблющегося излучателя, формирующего плоскую волну с постоянной фазой, причем диаметр излучающей поверхности, за счет использования колебаний со стороны соединения с преобразователем, увеличивается в два раза.

Таким образом, за счет обеспечения равномерности излучения колебаний ультразвукового диапазона по вновь сформированной поверхности излучения (на некотором расстоянии от дискового металлического излучателя, равном высоте конусных рупоров) исключается взаимная компенсация колебаний на некоторых расстояниях от излучателя, обеспечивается возможность формирования режимов стоячей волны и резонансного усиления при использовании встречно направленных излучателей или отражении от препятствий, поскольку создаваемые предложенным устройством колебания являются синусоидальными.

Сущность предлагаемого технического решения поясняется фиг.1-3. На фиг.1 представлена конструктивная схема известной ультразвуковой колебательной системы для интенсификации процессов в газовых средах (коагуляция, сушка, пеногашение, распыление) для пояснения принципов формирования ультразвуковых колебаний изгибно-колеблющимся излучателем и формируемая такой системой диаграмма направленности излучаемых колебаний. На фиг.2 представлен эскиз предлагаемой ультразвуковой колебательной системы с излучателем в виде диска и рупорными устройствами, обеспечивающими излучение УЗ колебаний в пространство перед излучателем с одной фазой, а также формируемая такой системой диаграмма направленности излучаемых колебаний. На фиг.3 - практическая конструкция предложенной ультразвуковой колебательной системы для газовых сред с изгибно-колеблющимся излучателем и системой фазовыравнивающих конусных рупоров.

Известная ультразвуковая колебательная система (фиг 1) для газовых сред состоит

из последовательно расположенных и акустически связанных между собой продольно колеблющегося пьезоэлектрического преобразователя 1 и излучателя 2 УЗ колебаний в газовую среду в виде диска, выполненного из металла, геометрические размеры которого выбраны из условия формирования изгибных колебаний на рабочей частоте, соответствующей собственной резонансной частоте пьезоэлектрического преобразователя 1 и кратной основной частоте дискового излучателя 2.

В качестве примера рассматривается дисковый излучатель, совершающий изгибные колебания на моде (третьей) основных колебаний, имеющей две зоны (центральная 3 и крайняя 4), совершающие колебания с фазой, соответствующей фазе колебаний пьезопреобразователя 1 и расположенную между ними кольцевую зону 5, совершающую колебания с фазой, противоположной фазе колебаний пьезопреобразователя 1.

При изгибных колебаниях диска постоянного сечения, кольцевые зоны 3 и 4 колеблются в фазе, а кольцевая зона 5 колеблется в противофазе, т.е. центральная зона дискового излучателя определенного диаметра (определяемого толщиной и свойствами металла) колеблется с фазой, совпадающей с фазой колебаний преобразователя, следующая кольцевая зона дискового излучателя колеблется с противоположной фазой на основной частоте преобразователя, а каждая последующая четная кольцевая зона колеблется с противоположной преобразователю фазой, а каждая последующая нечетная кольцевая зона колеблется с соответствующей преобразователю фазой. Это условно иллюстрируется на фиг.1 показанными распространяющимися синусоидальными колебаниями 6 с различными начальными фазами.

Благодаря этому свойству изгибно-колеблющегося излучателя излучение соседних зон, имеющих противоположные фазы, на некотором расстоянии от излучателя компенсируется, формируя широкую диаграмму направленности 7 (около 30 градусов), представленную на фиг.1. По этой причине известная колебательная система не обеспечивает требуемого распространения в пространстве и ультразвукового воздействия на обрабатываемые объекты.

Предлагаемая ультразвуковая колебательная система для газовых сред (фиг 2) также состоит из последовательно расположенных и акустически связанных между собой продольно колеблющегося пьезоэлектрического преобразователя 1 и излучателя 2 УЗ колебаний в газовую среду в виде диска, выполненного из металла, геометрические размеры которого выбраны из условия формирования изгибных колебаний на рабочей частоте, соответствующей собственной резонансной частоте пьезоэлектрического преобразователя 1 и кратной основной частоте дискового излучателя 2.

В качестве примера предложенной системы также рассматривается дисковый излучатель, совершающий изгибные колебания на третьей моде основных колебаний, т.е. также, как и известное устройство, имеющий две зоны (центральная 3 и крайняя 4), совершающие колебания с фазой, соответствующей фазе колебаний пьезопреобразователя 1 и расположенную между ними кольцевую зону 5, совершающую колебания с фазой, противоположной фазе колебаний пьезопреобразователя 1.

В предлагаемом устройстве при изгибных колебаниях диска постоянного сечения, как и в известном устройстве, соседние зоны 3 и 4 колеблются в фазе, а кольцевая зона 5 колеблется в противофазе, т.е. центральная зона дискового излучателя определенного диаметра (определяемого толщиной и свойствами металла) колеблется с фазой, совпадающей с фазой колебаний преобразователя, следующая кольцевая зона дискового излучателя колеблется с противоположной фазой на основной частоте преобразователя, а каждая последующая четная кольцевая зона колеблется с противоположной преобразователю фазой, а каждая последующая нечетная кольцевая зона колеблется

с соответствующей преобразователю фазой.

Однако, в предлагаемом устройстве, со стороны поверхности, дискового излучателя 2, противоположной соединению с пьезоэлектрическим преобразователем 1, на расстоянии менее четверти длины волны УЗ колебаний в газовой среде на основной частоте формируемых пьезопреобразователем УЗ колебаний размещены рупора 8, 9 и 10, выполненные в виде кольцевых расходящихся усеченных конусов, с углом раствора 90 градусов, причем диаметр меньшего основания центрального конуса 8 и каждого последующего нечетного конуса 9 соответствует диаметру поверхности дискового излучателя, колеблющегося с фазой, совпадающей с фазой колебаний преобразователя и увеличивается до диаметра, соответствующего максимальному диаметру кольцевой зоны дискового излучателя, колеблющейся с противоположной фазой на основной частоте преобразователя, Следующий за центральным 8 и каждый последующий четный кольцевой расходящийся усеченный конус 9, расположенный над зоной, колеблющейся с противоположной преобразователю фазой имеет диаметр меньшего основания у поверхности дискового излучателя, соответствующий диаметру зоны дискового излучателя, колеблющегося с противоположной фазой на основной частоте преобразователя, увеличенный на половину длины волны УЗ колебаний в газовой среде (т.е. равная высоте конуса 1, увеличенной на половину длины волна a/2) и увеличивается до диаметра, соответствующего максимальному диаметру следующей кольцевой зоны поверхности дискового излучателя, колеблющейся с фазой, противоположной фазе преобразователя. Со стороны соединения дискового излучателя с пьезопреобразователем, на расстоянии менее четверти длины волны УЗ колебаний в газовой среде размещен отражатель ультразвуковых колебаний, выполненный в виде двух концентрически расположенных усеченных конусов 11 и 12 с углом раствора, равным 90 градусов, конусы соединены между собой и прикреплены в месте соединения к корпусу пьезопреобразователя.

Размещение в предложенном устройстве перед излучающими поверхностями изгибно-колеблющегося металлического диска рупоров, выполненных и расположенных таким образом, что на выходе из них формируются колебания с одинаковой фазой, обеспечивает формирование плоской волны с постоянной фазой, причем диаметр излучающей поверхности, за счет использования колебаний со стороны соединения с преобразователем, увеличивается в два раза.

Таким образом, за счет обеспечения равномерности излучения колебаний ультразвукового диапазона по вновь сформированной поверхности излучения исключается взаимная компенсация колебаний на некоторых расстояниях от излучателя. На расстоянии 1 м от излучателя обеспечивается формирование УЗ колебаний с уровнем звукового давления не менее 150 дБ и диаграммой направленности менее 5 градусов 7, даже при использовании излучателя, колеблющегося на 3 моде колебаний (диаметром 100 мм). При использовании дисковых излучателей, диаметром более 300 мм, совершающих УЗ колебания на 5…7 моде колебаний обеспечивается излучение с уровнем звукового давления не менее 165…170 дБ.

Предлагаемое устройство при интенсификации процессов в газовых средах работает следующим образом: включается генератор, электрические колебания, частота которых соответствует заданной гармонической составляющей (максимальной частоте) колебаний дискового излучателя, подаются на электроды пьезоэлектрических элементов, где происходит преобразование электрических колебаний подаваемой частоты всеми пьезоэлементами в продольные колебания преобразователя, продольные колебания подводятся к излучателю и возбуждают его на резонансной частоте, соответствующей

одной из мод или гармонических составляющих основной частоты изгибных колебаний излучателя в виде диска.

Создаваемое излучение обеспечивает энергетическое воздействие ультразвуковыми колебаниями с уровнем звукового давления более 150 дБ на заданной частоте в газовых средах. Воздействие осуществляется до установления необходимых технологических условий (укрупнение частиц до требуемого размера, необходимая степень удаления влаги при сушке, поддержание необходимого уровня пены, а также для передачи информации на требуемые расстояния).

Для определения эффективности воздействия ультразвуковыми колебаниями высокой интенсивности в газовых средах был создан опытный образец (фиг.3) и проведены испытания, позволившие установить, что уровень звукового давления колебаний, формируемых с помощью УЗ колебательной системы с излучателем в виде диска или прямоугольной пластины, на расстоянии 1 м составлял не менее 150 дБ. Приведенные значения показывают эффективность предлагаемого технического решения и перспективность его применения. Серийный выпуск данного устройства планируется осуществить в 2024 году.

Список литературы, использованной при составлении заявки

1. Источники мощного ультразвука [Текст] / под ред. Л.Д. Розенберга. - М.: Наука, 1967. - 265 с.

2. Ультразвуковая коагуляционная камера для работы в агрессивных средах [Текст] / В.Н. Хмелев, А.В. Шалунов, К.В. Шалунова. Сборник научных трудов «Современные проблемы радиоэлектроники» / Под ред. А.И.Громыко, А.В. Сарафанова. - Красноярск: ИФК СФУ, 2009. - С. 232-235.

3. Ultrasonic coagulation on the basis of piezoelectric vibrating system with focusing radiator in the form of step - variable plate [Текст] / Khmelev V.N., Galakhov A.N., Tsyganok S.N., Lebedev A.N., Shalunov A.V., Khmelev M.V. 11th Annual International Conference and Seminar on Micro/Nanotechnologies and Electron, EDM'2010 - Proceedings: Altai 2010. С. 376-379.

4. Разработка пьезоэлектрических ультразвуковых колебательных систем для интенсификации процессов в газовых средах [Текст] / Хмелев В.Н., Цыганок С.Н., Шалунов А.В., Лебедев А.Н., Хмелев С.С., Галахов А.Н. Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2010. №1. С. 148-157.

5. Способ коагуляции инородных частиц в газовых потоках [Текст] пат.2447926 Рос. Федерация: МПК B01D 51/08, B03D 3/04 / Хмелев В.Н., Шалунов А.В., Цыганок С.Н., Барсуков Р.В., Шалунова К.В., Галахов А.Н.; патентообладатель: Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова» (АлтГТУ); заявка №2010123572/05 от 09.06.2010; опубликовано 20.04.2012.

6. Acoustic transducer system [Текст]: пат.4768615 США: МПК7 G10K 11/26; G10K 13/00; H04R 1/28; H04R 1/34; G10K 11/00; G10K 13/00; H04R 1/28; H04R 1/32 / Steinebrunner Edwin, Berger Wolfram (Германия); патентообладатель: Endress u. Hauser GmbH u. Co. (Германия); заявка: №07/007102 от 27.01.1987; опубликовано: 06.09.1988.

7. Electroacoustic unit for generating high sonic and ultra-sonic intensities in gases and interphases [Текст]: пат. 5299175 США: МПК7 B06B 1/02; B06B 3/04; G10K 13/00 / Gallego Juarez Juan Antonio., Rodriguez Corral German., San Emetero Prieto Jose L., Montoya Vitini Fausto (Испания); патентообладатель: Consejo, Superior De Investigaciones Cientificas (Испания); заявка №08/006040 от 19.01.1993; опубликовано: 29.03.1994.

8. Macrosonic generator for the air-based industrial defoaming of liquids [Текст]: пат. 7719924 B2 США: МПК H04R 17/00; B06B 1/02; G10K 9/12; G10K 11/02; H04R 15/00 / Gallego

Juarez Juan Antonio., Rodriguez Corral German., Montoya Vitini Fausto., Acosta Aparicio Victor., Riera Franco De Sarabia Enrique., Blanco Blanco Alfonso (Испания); патентообладатель: Insituto de Acustica (Испания); заявка №11/989544 от 27.07.2005, опубликовано 18.05.2010.

9. Ультразвуковой излучатель для газовых сред [Текст]: пат. 117835 Рос. Федерация: МПК B06B 1/06 / Вьюгинова А.А., Новик А.А.; патентообладатель: Закрытое акционерное общество "Ультразвуковая техника - ИНЛАБ"; заявка №2012114036/28 от 10.04.2012; опубликовано 10.07.2012.

10. Equipo electroacustico para la generacion de altas intensidades sonicas y ultrasonicasen gases e interfases [Текст]: пат. 2017285 Испания: МПК6 G10K 9/13 / Gallego Juarez J.A., Rodrguez Corral G., San Emeterio Prieto J.L., Montoya Vitini, F. (Испания); патентообладатель: Consejo superior investigacion (Испания); заявка: №8903371 от 06.10.1989; опубликовано: 16.01.1991.

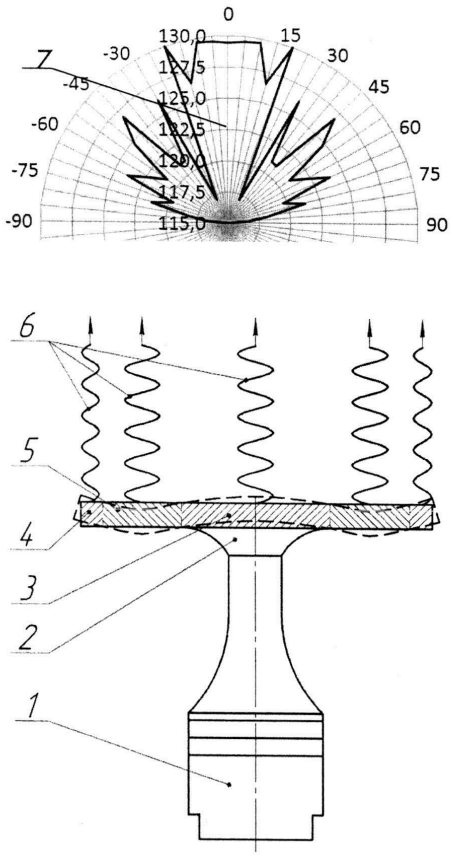
11. Ультразвуковая колебательная система для газовых сред [Текст]: Патент на полезную модель №132000. Рос. Федерация: МПК B06B 1/00/ Хмелев В.Н., Галахов А.Н., Шалунов А.В., Нестеров В.А.; патентообладатель: ООО «Центр ультразвуковых технологий АлтГТУ»; заявка №2013123940/28 от 24.05.2013; опубликовано 10.09.2013 Бюл. №25 - прототип.

(57) Формула изобретения

Ультразвуковая колебательная система для газовых сред, состоящая из последовательно расположенных и акустически связанных между собой продольно колеблющегося пьезоэлектрического преобразователя и излучателя УЗ колебаний в газовую среду в виде диска, выполненного из металла, геометрические размеры которого выбраны из условия формирования изгибных колебаний на рабочей частоте, соответствующей собственной резонансной частоте пьезоэлектрического преобразователя и кратной основной частоте дискового излучателя, отличающаяся тем, что со стороны поверхности дискового излучателя, противоположной соединению с пьезоэлектрическим преобразователем, на расстоянии менее четверти длины волны УЗ колебаний в газовой среде на основной частоте формируемых пьезопреобразователем УЗ колебаний размещены рупора, выполненные в виде кольцевых расходящихся усеченных конусов, с углом раствора 90 градусов, причем диаметр меньшего основания центрального конуса и каждого последующего нечетного конуса соответствует диаметру поверхности дискового излучателя, колеблющегося с фазой, совпадающей с фазой колебаний преобразователя, и увеличивается до диаметра, соответствующего максимальному диаметру кольцевой зоны дискового излучателя, колеблющейся с противоположной фазой на основной частоте преобразователя, следующий за центральным и каждый последующий четный кольцевой расходящийся усеченный конус, расположенный над зоной, колеблющейся с противоположной преобразователю фазой, имеет диаметр меньшего основания у поверхности дискового излучателя, соответствующий диаметру зоны дискового излучателя, колеблющегося с противоположной фазой на основной частоте преобразователя, увеличенный на половину длины волны УЗ колебаний в газовой среде, и увеличивается до диаметра, соответствующего максимальному диаметру следующей кольцевой зоны поверхности дискового излучателя, колеблющейся с фазой, противоположной фазе преобразователя, со стороны соединения дискового излучателя с пьезопреобразователем, на расстоянии менее четверти длины волны УЗ колебаний в газовой среде размещен отражатель ультразвуковых колебаний, выполненный в виде двух концентрически расположенных усеченных конусов с углом раствора, равным 90 градусов, конусы соединены между

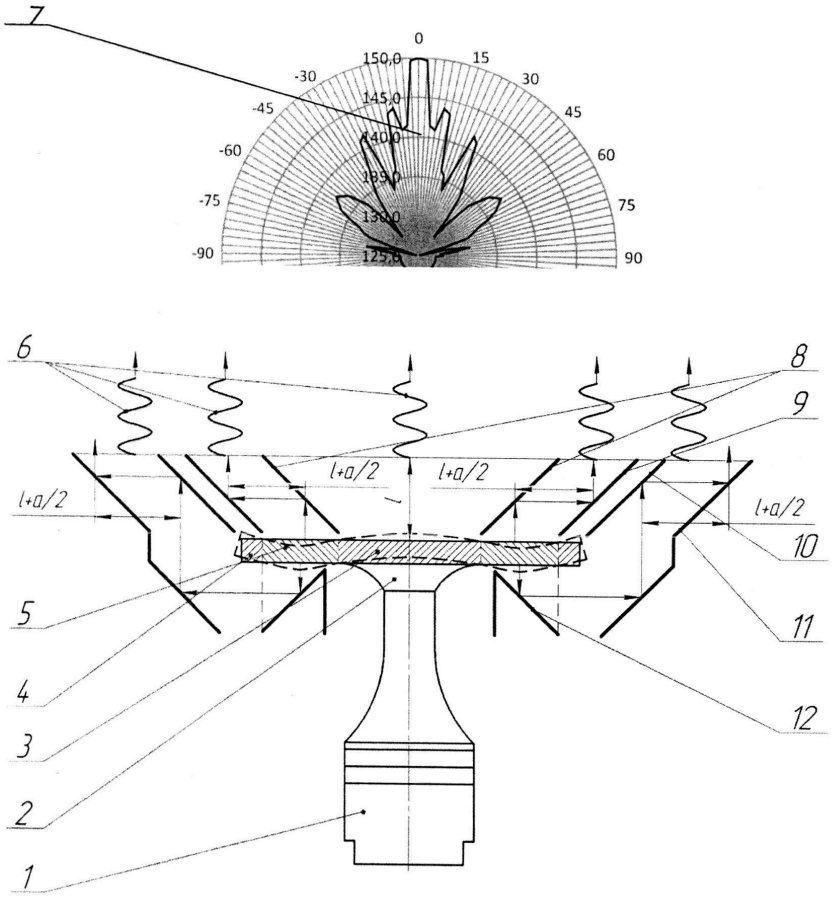
собой и прикреплены в месте соединения к корпусу пьезопреобразователя.

1



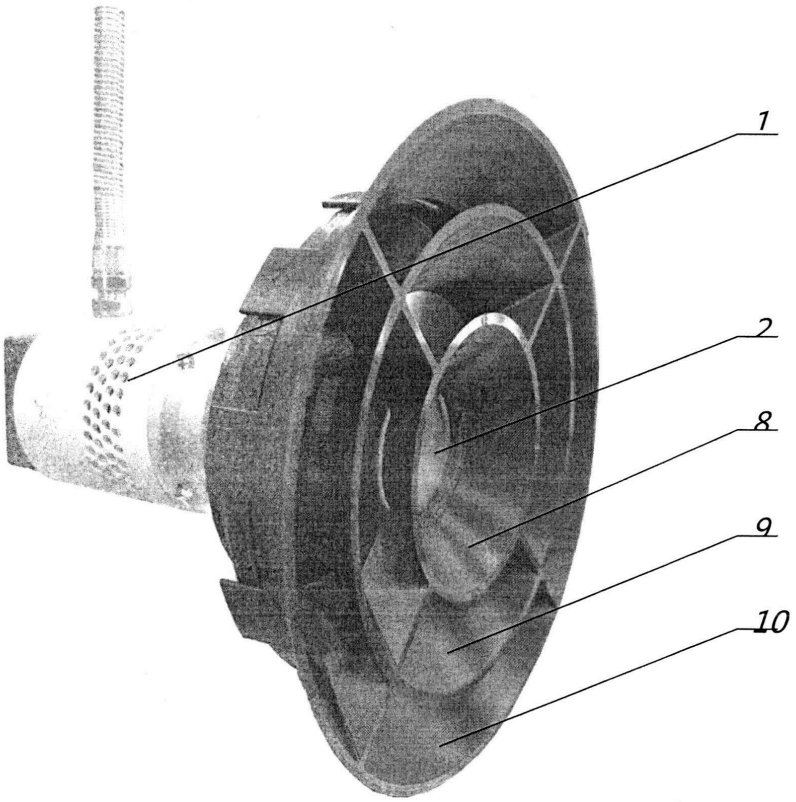
Фиг.1. Конструктивная схема ультразвуковой колебательной системы для газовых сред и диаграмма ее направленности

2



Фиг.2. Ультразвуковая колебательная система для газовых сред и ее диаграмма направленности

3



Фиг.3. Внешний вид ультразвуковой колебательной системы для газовых сред