



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК

B06B 1/00 (2025.01); B06B 1/02 (2025.01)

(21)(22) Заявка: 2024116311, 13.06.2024

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
13.06.2024Дата регистрации:
21.04.2025

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 13.06.2024

(45) Опубликовано: 21.04.2025 Бюл. № 12

Адрес для переписки:

659305, Алтайский край, г. Бийск, ул. Героя
Советского Союза Трофимова, 27, корп. Б, к.
101/1, Хмелеву В.Н.

(72) Автор(ы):

Барсуков Роман Владиславович (RU),
Генне Дмитрий Владимирович (RU),
Нестеров Виктор Александрович (RU),
Хмелев Владимир Николаевич (RU),
Барсуков Александр Романович (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Хмелев Владимир Николаевич (RU)

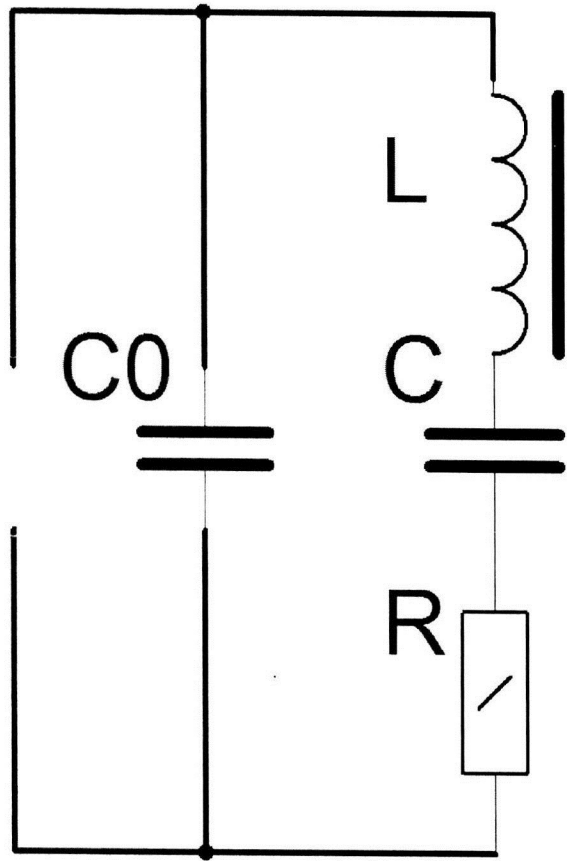
(56) Список документов, цитированных в отчете
о поиске: RU 2744826 C1, 16.03.2021. GB
2029159 B, 22.12.1982. ES 2017285 A, 16.01.1991.
JP 10174829 A, 30.06.1998. US 4540123 A1,
10.09.1985.

(54) Устройство ультразвукового воздействия на газовые среды

(57) Реферат:

Изобретение относится к устройствам ультразвукового (УЗ) воздействия на газовые среды. Технический результат заключается в создании устройства, предназначенного для генерации и эффективного ввода УЗ-колебаний с высоким уровнем звукового давления в газовые среды с возможностью плавной перестройки частоты. Устройство содержит излучатель УЗ-колебаний, состоящий из последовательно размещенных и акустически связанных между собой пьезоэлектрического преобразователя, металлического концентратора переменного

диаметра с цилиндрическим окончанием и источника питания пьезоэлектрического преобразователя, при этом между излучателем и источником питания последовательно установлен частотокорректирующий элемент, состоящий из катушки индуктивности, размещенной в броневом магнитопроводе, и электрического шагового двигателя, обеспечивающего перемещение подвижной части магнитопровода относительно неподвижной, и узла управления шаговым двигателем. 4 ил.



Эквивалентная схема УЗ излучателя

Фиг. 1



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(52) CPC
B06B 1/00 (2025.01); B06B 1/02 (2025.01)

(21)(22) Application: **2024116311, 13.06.2024**

(24) Effective date for property rights:
13.06.2024

Registration date:
21.04.2025

Priority:
(22) Date of filing: **13.06.2024**

(45) Date of publication: **21.04.2025** Bull. № 12

Mail address:
**659305, Altajskij kraj, g. Bijsk, ul. Geroya
Sovetskogo Soyuza Trofimova, 27, korp. B, k. 101/
1, Khmelevu V.N.**

(72) Inventor(s):
**Barsukov Roman Vladislavovich (RU),
Genne Dmitrij Vladimirovich (RU),
Nesterov Viktor Aleksandrovich (RU),
Khmelev Vladimir Nikolaevich (RU),
Barsukov Aleksandr Romanovich (RU)**

(73) Proprietor(s):
Khmelev Vladimir Nikolaevich (RU)

(54) **APPARATUS FOR ULTRASONIC ACTION ON GAS MEDIA**

(57) Abstract:

FIELD: apparatus for generating vibrations.

SUBSTANCE: invention relates to devices for ultrasonic action on gas media. Device contains the ultrasound oscillations emitter, consisting of in-series placed and acoustically interconnected piezoelectric transducer, variable diameter metal concentrator with a cylindrical end and the piezoelectric transducer power supply, at that, between the emitter and the power supply, a frequency correcting element is in series

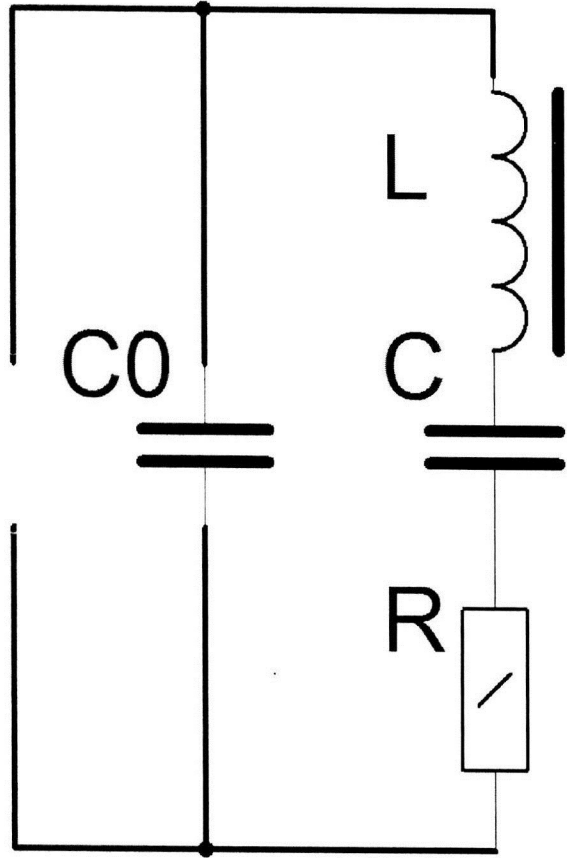
installed, consisting of an inductance coil placed in the armoured magnetic core, and electric step motor, providing movement of movable part of magnetic circuit relative to fixed part, and step motor control unit.

EFFECT: creation of device intended for generation and efficient input of ultrasonic oscillations with high level of sound pressure to gaseous media with possibility of smooth frequency tuning.

1 cl, 4 dwg

RU 2 838 552 C1

RU 2 838 552 C1



Эквивалентная схема УЗ излучателя

Фиг. 1

Изобретение относится к области техники активного воздействия на газовые и газодисперсные системы, а именно к устройствам ультразвукового воздействия на газовые среды, обеспечивающим создание и введение в газовые среды ультразвуковых колебаний с высоким уровнем звукового давления.

5 В настоящее время, для активного воздействия ультразвуковыми (УЗ) колебаниями на газовые и газодисперсные системы (сушка, коагуляция, пеногашение, выявление объектов на пути распространения колебаний, сигнализация, передача информации на большие расстояния), применяются устройства ультразвукового воздействия на газовые среды (УЗ колебательные системы), в которых в качестве излучателя используется
10 колеблющаяся изгибно металлическая пластина (диск постоянного или переменного сечения), колебания которой возбуждаются в ее центре, при помощи продольно колеблющегося электромеханического преобразователя (обычно пьезоэлектрического типа).

Использование в качестве излучателя изгибно колеблющейся металлической пластины
15 обеспечивает увеличенный выход энергии, в сравнении с другими известными излучателями, поскольку волновое сопротивление изгибно-колеблющегося излучателя лучше согласуется с волновым сопротивлением газа, чем продольно колеблющегося.

Подобного рода устройства ультразвукового воздействия на газовые среды используются для рассеяния туманов в прилегающей зоне различных объектов, как для
20 неподвижного наземного размещения (аэродромы, морские порты, автодороги, площадки для проведения спортивных и культурных мероприятий), так и перемещающихся в пространстве (например, корабли), для которых необходимо выполнение заданных требований по дальности видимости.

Обусловлено это тем, что туманы являются устойчивой структурой и, при неизменных
25 естественных условиях, эволюционируют слабо. Разрушение (рассеивание) тумана в естественных условиях происходит, как правило, вследствие изменения термодинамических параметров среды (температуры, влажности, давления) и длится от нескольких часов до нескольких суток. Эффективным для коагуляции взвешенных в воздухе капелек влаги (твердых частиц) является применение известных устройств
30 ультразвукового воздействия на газовые среды [1].

Аналогично, для ускорения процессов очистки опасных для окружающей среды газовых потоков, а также для выделения из газовых потоков полезных веществ применяются устройства ультразвукового воздействия на газовые среды, выполненные в виде параллельно расположенных излучающих пластин, каждая из которых
35 механически и акустически связана с пьезопреобразователем, причем пластины одного из излучателей симметрично расположены между пластинами другого излучателя. Применение таких УЗ излучателей в устройствах очистки позволяет повысить эффективность реализации процесса коагуляции частиц субмикронного диапазона.

Известны различные варианты реализации устройств ультразвукового воздействия
40 на газовые среды [2], например с двумя плоскими поверхностями, одна из которых выполнена в виде изгибно-колеблющегося диска, а вторая отражает прошедшие через поток колебания.

Все известные устройства ультразвукового воздействия на газовые среды работают на собственной частоте механических колебаний пьезоэлектрического преобразователя,
45 механически акустически связанного с изгибно колеблющейся излучающей пластиной. Для создания и излучения колебаний на ультразвуковой частоте пластина совершает изгибные колебания на моде механических колебаний, кратных первой моде (основной частоте) изгибных колебаний пластины. Попытки изменения частоты воздействия

приводят к практически полной потере эффективности излучения, т.к. полоса пропускания известных устройств ультразвукового воздействия на газовые среды не превышает нескольких герц (обусловлено высокой добротностью УЗ излучателей).

5 Вместе с тем, известно, что эффективность ультразвукового воздействия на газовые среды существенно зависит от частоты УЗ колебаний (например, коагуляция различных по размерам частиц существенно зависит от частоты: для объединения частиц размером в 10 мкм наиболее эффективно воздействие на частоте в 22 кГц, а меньшие частицы лучше объединяются при более высокочастотном воздействии).

10 В связи с этим возникает необходимость использования на практике устройств ультразвукового воздействия на газовые среды, способных изменять частоту УЗ колебаний (частоту воздействия) [3,4].

Наиболее близким по технической сущности и функциональному назначению к предлагаемому техническому решению является устройство ультразвукового воздействия на газовые среды, реализованное в патенте [4], принятое за прототип.

15 Устройство ультразвукового воздействия на газовые среды, принятое за прототип, содержит излучатель УЗ колебаний, состоящий из последовательно размещенных и акустически связанных между собой пьезоэлектрического преобразователя, металлического концентратора переменного диаметра с цилиндрическим окончанием, имеющим плоскую торцевую поверхность, присоединенную посредством резьбового
20 соединения к присоединительной поверхности металлического изгибно колеблющегося диска, и источник питания пьезоэлектрического преобразователя.

Устройство ультразвукового воздействия на газовые среды, принятое за прототип, предназначено для воздействия ультразвуковыми колебаниями на частотах в диапазоне от 70 кГц до 20 кГц с интенсивностью не менее 135 дБ.

25 Возможность ультразвукового воздействия на газовые среды на различных частотах обеспечивается в прототипе за счет выполнения пьезоэлектрического преобразователя таким образом, что его продольный размер ступенчато изменяется со стороны, не контактирующей с излучателем. При этом, каждая из ступенчато изменяемых длин соответствует по резонансной длине одной из мод изгибных колебаний дискового
30 излучателя. Таким образом, прототип, при изменении частоты питающего пьезопреобразователь электрического напряжения (вырабатываемого источником питания - генератором) обеспечивает дискретное изменение частоты излучения в соответствии с одной из мод изгибных колебаний дискового излучателя.

35 Таким образом, устройство ультразвукового воздействия на газовые среды, принятое за прототип, способно повысить эффективность воздействия за счет формирования и введения в газовые среды УЗ колебаний различных частот, среди которых могут быть оптимальные или более эффективные для определенного процесса.

Вместе с тем устройство ультразвукового воздействия на газовые среды, принятое за прототип, имеет следующие существенные недостатки:

40 1. Дискретность эффективной работы устройства, поскольку устройство способно эффективно работать только на нескольких определенных частотах, соответствующих частотам мод изгибных колебаний дискового излучателя. Количество рабочих частот (мод колебаний) ограничено. Например, если первая из мод колебаний, соответствующих частоте УЗ колебаний равна 20 кГц, то следующая будет уже близка к 40 (а следующая
45 80 кГц). Работа на столь высоких УЗ частотах малоэффективна из-за существенного роста затухания колебаний на высоких частотах при распространении их в газах.

2. Невозможность обеспечения максимальной эффективности излучения из-за сложности расчета, изготовления и согласования элементов пьезоэлектрического

преобразователя (отражающей накладки, выполняемой в виде цилиндра, ступенчато-изменяющегося продольного размера) с дисковым излучателем, на всех модах изгибных колебаний. Это приводит к различной эффективности УЗ воздействия на различных частотах излучаемых колебаний.

5 3. Смещение узлов (точек с нулевыми колебаниями, т.е. мест крепления) в волноводных элементах конструкции излучателя, приводит к появлению акустических потерь в опорах, при помощи которых излучатель крепится к другим конструкциям (платформы, основания). Это приводит к снижению эффективности работы излучателя при необходимости излучения УЗ колебаний различных частот, значительно (в два
10 раза) отличающихся друг от друга. Практически, если при минимальной частоте колебаний мы применяем классическое крепление преобразователя в минимуме колебаний, то переход на последующую частоту приводит к тому, что крепление оказывается в максимуме колебаний, что делает излучение на этой частоте практически невозможным.

15 4. Невозможность точной настройки устройства в резонансный режим воздействия (режим стоячей волны) при работе с отражателями или при использовании максимально эффективных резонансных промежутков, поскольку для этого требуется непрерывное (не дискретное) изменение частоты в пределах нескольких единиц или десятков герц.

5. Снижение эффективности работы излучающей системы на различных частотах, поскольку соединенные между собой дисковый излучатель, возбуждаемый на различных
20 модах и пьезоэлектрический преобразователь, возбуждаемый на различных частотах, имеют на разных частотах различные волновые сопротивления (импедансы). Это приводит к рассогласованию этих элементов, образующих единую конструкцию (преобразователь - излучающий элемент), рассогласованию выходного сопротивления
25 генератора и входного сопротивления устройства ультразвукового воздействия на газовые среды.

6. Усложнение конструкции и снижение эффективности электронного генератора, необходимого для возбуждения излучателя (питания пьезоэлектрического преобразователя), поскольку требуется электронный генератор с широким диапазоном
30 перестройки по частоте, что снижает надежность работы системы автоматической подстройки частоты генератора, требует дополнительной адаптивной системы согласования импеданса электронного генератора с импедансом УЗ излучателя, который, как было отмечено выше, различный на его рабочих частотах. Кроме того, требуется подстройка мощности электронного генератора при работе на различных
35 частотах т.к. интенсивность излучения на различных модах разная, из-за различного импеданса УЗ излучателя.

Все перечисленные недостатки снижают эффективность использования устройства ультразвукового воздействия на газовые среды при излучении колебаний различных частот.

40 В предлагаемом устройстве решается задача устранения недостатков прототипа и создания устройства ультразвукового воздействия на газовые среды с возможностью оперативной плавной перестройки частоты излучения в заданном частотном диапазоне, достаточном для формирования резонансных условий воздействия и повышения эффективностью воздействия на различные газовые среды при реализации
45 разнообразных процессов (коагуляция, сушка, пеногашение и т.д.).

Технический результат изобретения достигается за счет создания устройства, предназначенного для генерации и эффективного ввода ультразвуковых колебаний, с возможностью плавной перестройки частоты, с высоким уровнем звукового давления

(высокой интенсивности) в газовые среды при решении важных технических задач, в частности:

- создания матрицы однотипных излучателей работающих синфазно на одной частоте, что без оперативной корректировки частоты излучателя в небольшом диапазоне невозможно, для наращивания мощности такой излучающей матрицы;
- работы в составе в резонансных сушильных камер, где условия возникновения стоячих волн и резонансные явления могут изменяться в силу различных обстоятельств (изменение количества и влажности высушиваемого продукта), и требуется подстройка в небольшом диапазоне частоты излучения;
- создания излучающих систем в виде спаренных однотипных УЗ излучателей с рабочими частотами, отличающимися на фиксированную величину для создания низкочастотных биений или высокочастотных (удвоенных) колебаний на значительных расстояниях от излучателя (на расстояниях, не достижимых колебаниями на этой частоте из-за затухания).

Сущность предлагаемого технического решения заключается в том, что, в известном устройстве ультразвукового воздействия на газовые среды, содержащем излучатель УЗ колебаний, состоящий из последовательно размещенных и акустически связанных между собой пьезоэлектрического преобразователя, металлического концентратора переменного диаметра с цилиндрическим окончанием, имеющим плоскую торцевую поверхность, присоединенную посредством резьбового соединения к присоединительной поверхности металлического изгибно-колеблющегося диска, и источник питания пьезоэлектрического преобразователя, между излучателем и источником питания последовательно установлен частотокорректирующий элемент, состоящий из катушки индуктивности, размещенной в броневом магнитопроводе, имеющем неподвижную и подвижную части, электрического шагового двигателя, обеспечивающего перемещение подвижной части магнитопровода относительно неподвижной и узла управления шаговым двигателем.

Сущность предлагаемого технического решения поясняется Фиг. 1. Фиг. 2, Фиг. 3 и Фиг. 4.

На Фиг. 1, для пояснения принципа работы, устройство ультразвукового воздействия на газовые среды представлено в виде последовательного колебательного RLC контура и параллельно подключенной электрической емкостью C_0 . Возможность такого представления и анализа устройства ультразвукового воздействия на газовые среды основано на системе электромеханических аналогий, позволяющих представлять любую механическую систему в виде эквивалентной электрической схемы [5]. RLC ветвь называется механической и значения ее элементов определяются геометрическими и механическими параметрами элементов и узлов УЗ излучателя. Элемент C_0 определяется емкостью пьезокерамических элементов, входящих в состав электромеханического

преобразователя УЗ излучателя. В механической RLC ветви на частоте $f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$

возникает резонанс. Значение резонансной частоты механической ветви схемы замещения соответствует резонансной частоте реального УЗ излучателя.

На Фиг. 2 для пояснения возможности практической реализации устройства представлена упрощенная эквивалентная схема предлагаемого устройства ультразвукового воздействия на газовые среды с дополнительным перестраиваемым индуктивным элементом L_{Π} , индуктивность которого может изменяться в некотором диапазоне. Схему, представленную на Фиг. 2 можно трансформировать в схему,

представленную на Фиг. 3, где индуктивный элемент L_{Π} включен последовательно с индуктивным элементом L . В таком случае резонансная частота механической RLC

ветви будет определяться как $f = \frac{1}{2\pi\sqrt{(L+L_{\Pi})C}}$, из чего следует, что при наличии

дополнительного индуктивного элемента L_{Π} она будет уменьшаться. Изменяя значение элемента L_{Π} можно добиться изменения резонансной частоты механической ветви схемы замещения и, соответственно, устройства ультразвукового воздействия на газовые среды.

Более подробно сущность предлагаемого технического решения поясняется Фиг. 4, на которой схематично показано устройство ультразвукового воздействия на газовые среды. На Фиг. 4 приняты следующие обозначения: 1 - ультразвуковой электронный генератор; 2 - перестраиваемый индуктивный элемент, состоящий из катушки, подвижного и неподвижного магнитопровода; 3 - УЗ излучатель для газовых сред; 4 - шаговый двигатель; 5 - блок управления шаговым двигателем; 6 - канал управления перестраиваемым индуктивным элементом; 7 - информационный выход частоты ультразвукового электронного генератора.

Устройство ультразвукового воздействия на газовые среды работает следующим образом. При подаче питания на устройство, шаговый двигатель 4, при помощи блока управления шаговым двигателем 5, приводит в движение подвижную часть магнитопровода, перестраиваемого индуктивного элемента 2 и устанавливает его минимально возможную индуктивность. При включении ультразвукового электронного генератора 1, система автоматической подстройки частоты генератора осуществляет «захват» и начинает возбуждать УЗ излучатель 3 на его резонансной частоте, которая определяется с учетом текущего значения индуктивности включенного перестраиваемого индуктивного элемента 2. В случае необходимости корректировки текущей резонансной частоты УЗ излучателя, (например, при корректировке частоты отдельного излучателя при работе в составе матрицы синфазно работающих УЗ излучателей, или при необходимости корректировки частоты УЗ излучателя при его работе в составе резонансных коагуляционных или сушильных камер, или при эксплуатации УЗ излучателей, являющихся элементами спаренных излучающих систем, работающих с фиксированным частотным сдвигом, который имеет нежелательный дрейф при различных условиях охлаждения излучателей и т.п.) по каналу управления перестраиваемым индуктивным элементом 6 формируют управляющий сигнал. В результате чего, при помощи блока управления шаговым двигателем 5, шаговый двигатель 4 начинает изменять зазор в магнитопроводе перестраиваемого индуктивного элемента 2. При этом, рабочая частота УЗ излучателя начинает изменяться. Текущее значение рабочей частоты непрерывно контролируют при помощи информационного выхода частоты ультразвукового электронного генератора 7. При достижении требуемой частоты УЗ излучателя перемещение подвижных элементов магнитопровода перестраиваемого индуктивного элемента 2 прекращается.

В ходе экспериментальных исследований при работе с предложенными и разработанными устройствами ультразвукового воздействия на газовые среды [6] обеспечивалось изменение рабочей частоты в пределах до $\pm 5\%$ от средней частоты колебаний.

Разработанное устройство ультразвукового воздействия на газовые среды прошло лабораторные, технические испытания и было реализовано в действующей установке для практического подтверждения результатов исследований по гранту РНФ № 23-19-

00900. Мелкосерийное производство устройства ультразвукового воздействия на газовые среды планируется начать в 2024 году.

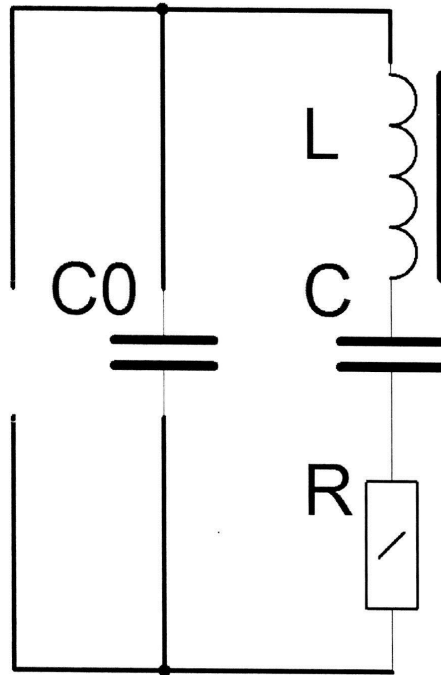
Список литературы, используемой при составлении заявки:

1. Устройство ультразвуковой коагуляции инородных частиц в газовых потоках [Текст]: патент 2725584. РФ: МПК В01D 51/08 (2006.01) / Хмелев Владимир Николаевич, Шалунов Андрей Викторович, Нестеров Виктор Александрович, Тертишников Павел Павлович; правообладатель - Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова» (АлтГТУ), заявка: 2019135777, 06.11.2019. Опубликовано: 02.07.2020.
2. Способ ультразвуковой газоочистки [Текст]: патент 2807295. РФ: МПК В01D 51/08 (2006.01) / Нестеров Виктор Александрович, Тертишников Павел Павлович, Хмелев Владимир Николаевич, Шалунов Андрей Викторович; правообладатель - Хмелев Владимир Николаевич, заявка: 2023112485, 11.05.2023. Опубликовано: 13.11.2023.
3. Устройство электрофизического воздействия на аэрозоли [Текст]: патент 2430509. РФ: МПК А01G 15/00 (2006.01) / Хмелев Владимир Николаевич, Шалунов Андрей Викторович, Хмелев Максим Владимирович, Лебедев Андрей Николаевич, Шалунова Ксения Викторовна, Галахов Антон Николаевич; правообладатель - Общество с ограниченной ответственностью «Центр ультразвуковых технологий», заявка: 2010110402/21, 18.03.2010. Опубликовано: 10.10.2011.
4. Способ электрофизического воздействия на воздушно-капельные дисперсии [Текст]: патент 2421566. РФ: МПК Е01Н 13/00 (2006.01) / Хмелев Владимир Николаевич, Шалунов Андрей Викторович, Хмелев Максим Владимирович, Лебедев Андрей Николаевич, Шалунова Ксения Викторовна; правообладатель - Российская Федерация, от имени которой выступает «Федеральное агентство по науке и инновациям», Общество с ограниченной ответственностью «Центр ультразвуковых технологий», заявка: 2009130948/21, 13.08.2009. Опубликовано: 20.06.2011. - прототип.
5. Хмелев, В.Н. Возможности системы контроля параметров нагрузки ультразвукового аппарата / В.Н. Хмелев, Р.В. Барсуков, Е.В. Ильченко // Южно-Сибирский научный вестник. - 2014. - № 2(6). - С. 86-89.
6. Ультразвуковые технологии и аппараты [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://u-sonic.ru/>, свободный - (04.06.2024).

(57) Формула изобретения

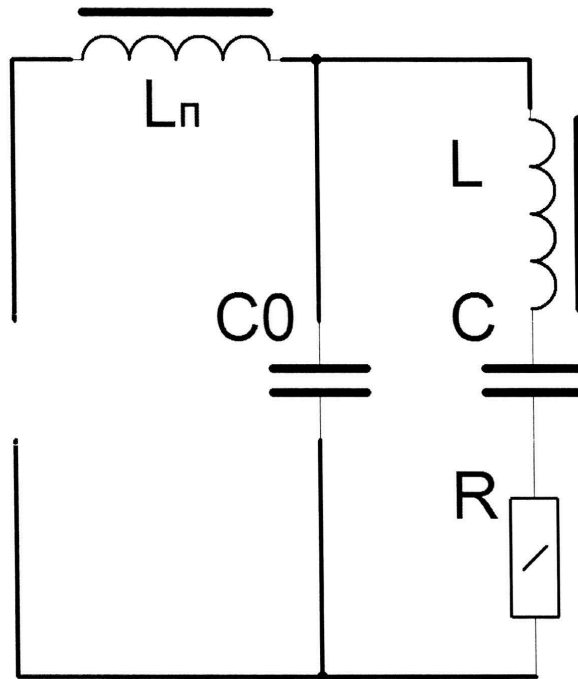
Устройство ультразвукового воздействия на газовые среды, содержащее излучатель УЗ-колебаний, состоящий из последовательно размещенных и акустически связанных между собой пьезоэлектрического преобразователя, металлического концентратора переменного диаметра с цилиндрическим окончанием, имеющим плоскую торцевую поверхность, присоединенную посредством резьбового соединения к присоединительной поверхности металлического изгибно колеблющегося диска, и источника питания пьезоэлектрического преобразователя, отличающееся тем, что между излучателем и источником питания последовательно установлен частотокорректирующий элемент, состоящий из катушки индуктивности, размещенной в броневом магнитопроводе, имеющем неподвижную и подвижную части, электрического шагового двигателя, обеспечивающего перемещение подвижной части магнитопровода относительно неподвижной, и узла управления шаговым двигателем.

1

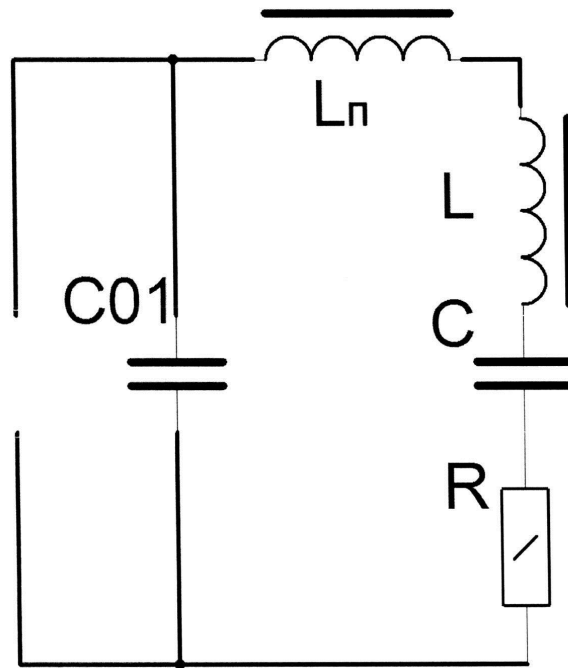


Фиг. 1. Эквивалентная схема УЗ излучателя

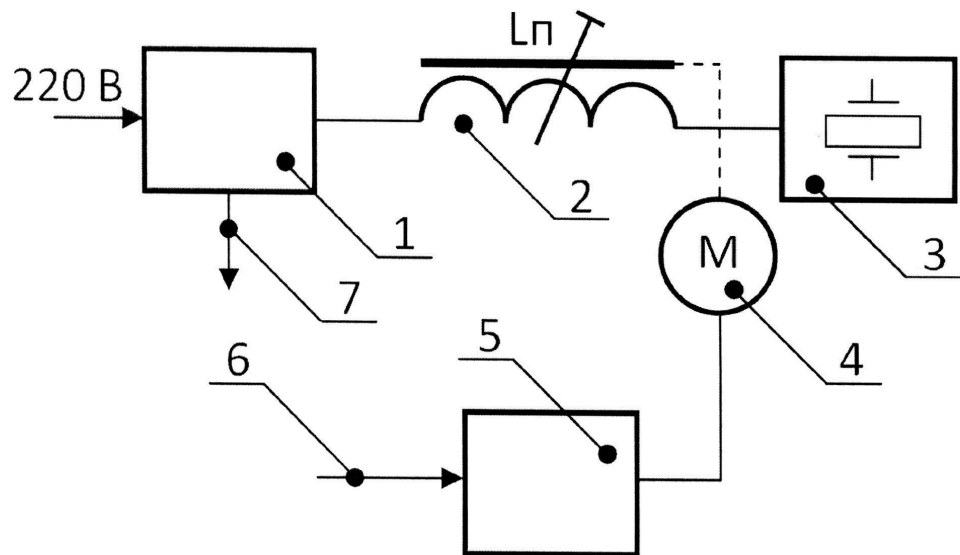
2



Фиг.2. Эквивалентная схема УЗ излучателя с последовательно подключенной дополнительной индуктивностью



Фиг.3. Эквивалентная схема УЗ излучателя с учетом последовательно подключенной индуктивности



Фиг. 4. Структурная схема устройства