



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ,  
ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ

**(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ**

(21)(22) Заявка: 2010110402/21, 18.03.2010

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
18.03.2010

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 18.03.2010

(45) Опубликовано: 10.10.2011 Бюл. № 28

(56) Список документов, цитированных в отчете о  
поиске: GB 2029159 A, 12.03.1980. GB 835972 A,  
01.06.1960. CA 2156799 A1, 24.02.1997. RU  
2332266 C1, 27.08.2008. RU 2123180 C1,  
10.12.1998. JP 10174829 A, 30.06.1998.

Адрес для переписки:

659328, Алтайский край, г. Бийск, а/я 416,  
ООО "Центр ультразвуковых технологий"

(72) Автор(ы):

Хмельёв Владимир Николаевич (RU),  
Шалунов Андрей Викторович (RU),  
Хмельёв Максим Владимирович (RU),  
Лебедев Андрей Николаевич (RU),  
Шалунова Ксения Викторовна (RU),  
Галахов Антон Николаевич (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Общество с ограниченной  
ответственностью "Центр ультразвуковых  
технологий" (RU)**(54) УСТРОЙСТВО ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА АЭРОЗОЛИ**

(57) Реферат:

Изобретение относится к области техники активного воздействия на атмосферные образования, а именно к устройствам для ускорения процесса рассеивания тумана. Предложенное устройство электрофизического воздействия на аэрозоли включает в себя последовательно расположенные и акустически связанные между собой пьезоэлектрический преобразователь, концентратор механических колебаний и излучатель в виде диска. Пьезоэлектрический преобразователь содержит рабочую частотно-понижающую накладку, выполненную в виде тела вращения переменного диаметра,

ограниченную со стороны акустического соединения с концентратором механических колебаний плоской торцевой поверхностью, а с противоположной стороны - поверхностью, образованной плоскими гранями. С каждой гранью поверхности рабочей частотно-понижающей накладки акустически связана одна торцевая поверхность пакета, состоящего из четного количества пьезоэлектрических элементов. Над излучающей поверхностью дискового излучателя размещена перфорированная пластина. Достижимый технический результат - повышение эффективности коагуляции тумана. 1 ил.



FEDERAL SERVICE  
FOR INTELLECTUAL PROPERTY,  
PATENTS AND TRADEMARKS

(51) Int. Cl.  
*A01G 15/00* (2006.01)

## (12) ABSTRACT OF INVENTION

(21)(22) Application: 2010110402/21, 18.03.2010

(24) Effective date for property rights:  
18.03.2010

Priority:

(22) Date of filing: 18.03.2010

(45) Date of publication: 10.10.2011 Bull. 28

Mail address:

659328, Altajskij kraj, g. Bijsk, a/ja 416, OOO  
"Tsentr ul'trazvukovykh tekhnologij"

(72) Inventor(s):

**Khmelev Vladimir Nikolaevich (RU),  
Shalunov Andrej Viktorovich (RU),  
Khmelev Maksim Vladimirovich (RU),  
Lebedev Andrej Nikolaevich (RU),  
Shalunova Ksenija Viktorovna (RU),  
Galakhov Anton Nikolaevich (RU)**

(73) Proprietor(s):

**Obshchestvo s ogranichennoj otvetstvennost'ju  
"Tsentr ul'trazvukovykh tekhnologij" (RU)**

## (54) DEVICE OF ELECTROPHYSICAL EXPOSURE OF AEROSOLS

(57) Abstract:

FIELD: agriculture.

SUBSTANCE: invention relates to the field of equipment of active exposure at atmospheric formations, namely, to devices for acceleration of fog dissipation process. The proposed device of the electrophysical exposure at aerosols includes the following serially arranged and acoustically linked components: a piezoelectric converter, a concentrator of mechanical oscillations and a radiator in the form of a disc. The piezoelectric converter comprises a working frequency-reducing pad made in the form of

a revolution solid of an alternating diameter limited at the side of the acoustic connection with the concentrator of mechanical oscillations with a flat end surface, and at the opposite side - with a surface formed by flat facets. One end surface of the packet made of even number of piezoelectric elements is joined with each facet of the surface of the working frequency-reducing pad. A perforated plate is arranged above the radiating surface of the disc radiator.

EFFECT: increased efficiency of fog coagulation.  
1 dwg

Изобретение относится к области техники активного воздействия на атмосферные образования, а именно к устройствам для ускорения процесса рассеивания тумана в прилегающей зоне различных стационарных объектов, таких как аэродромы, морские порты, автодороги, площадки для проведения спортивных и культурных мероприятий, и перед перемещающимися в пространстве кораблями, автомобилями, поездами, для которых необходимо выполнение заданных требований по дальности видимости.

Туманы являются устойчивой структурой и, в 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.

Для улучшения метеорологических условий в период образования тумана и, прежде всего, уменьшения вероятности ограничения видимости ниже допустимых пределов (для рассеивания туманов) используются устройства электрофизического воздействия, использующие различные виды энергетического воздействия на аэрозоли.

Наиболее эффективными являются устройства электрофизического воздействия на аэрозоли, обеспечивающие коагуляцию взвешенных в воздухе капелек влаги под действием акустических (в том числе и ультразвуковых) колебаний высокой интенсивности.

Наибольшее практическое применение имеют устройства воздействия на аэрозоли, основанные на преобразовании энергии потока сжатого воздуха (газа), создаваемого специальными компрессорами, в энергию акустических колебаний, формируемых в газовой среде (аэродинамические преобразователи). Наиболее эффективными среди них являются статические газоструйные излучатели [1]. Принцип действия устройств заключается в воздействии на частицы жидкости в воздухе упругими колебаниями одной или нескольких частот, направляемыми на скопление тумана.

При этом, благодаря высокой интенсивности воздействия акустических колебаний и использованию различных частот воздействия, увеличивается скорость коагуляции частиц (рассеивания тумана).

Известные устройства воздействия на аэрозоли характеризуются рядом существенных недостатков:

1. Низкой эффективностью [1] газоструйных излучателей, обусловленной малым (менее 20%) коэффициентом преобразования энергии потока сжатого воздуха в энергию колебаний (коэффициентом полезного действия).

2. Необходимостью использования для питания аэродинамических излучателей специальных компрессоров и большим расходом сжатого воздуха, быстрым износом механических узлов аэродинамических излучателей абразивными частицами.

3. Длительным временем выхода на режим излучения, связанным с необходимостью создания потока газа, а в случае использования автономных газогенераторов - ограниченным, непродолжительным временем работы.

4. Ограниченным диапазоном излучения (менее 20 кГц), исключающим возможность эффективной коагуляции мелких частиц, так как известно [2], что эффективность коагуляции в значительной степени зависит от степени увлечения дисперсных частиц дисперсионной средой, которая определяется как:  $F_0 = \frac{3\mu}{2\pi\rho R^2}$ , где

$\mu$  - коэффициент динамической вязкости дисперсионной среды,  $\rho$  - плотность дисперсной фазы/частиц,  $R$  - радиус частицы. [3]

При этом отношение амплитуды скорости колебаний взвешенной частицы к амплитуде скорости колебаний дисперсионной среды в зависимости от отношения частоты  $f$  излучения звука к характеристической частоте  $F_0$  имеет асимптотический характер. Например, для воздуха, при нормальных условиях  $\frac{\mu}{\rho} = 1,5 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2/\text{с}$ ,

поэтому оптимальная частота акустического воздействия определяется по формуле:

$$F_0 = \frac{7,2 \cdot 10^{-6}}{R^2}.$$

Исходя из этого выражения, можно определить характеристическую частоту, необходимую для эффективной коагуляции тумана. Как известно, наибольшую повторяемость в тумане имеют частицы с радиусом 15 мкм, а большая часть размеров частиц тумана находится в диапазоне от 10 до 20 мкм [4]. Следовательно, используя полученную формулу, для частиц с радиусом 15 мкм  $F_0=32$  кГц. Для частиц размером в 20 мкм оптимальная частота близка к 20 кГц. Использовать частоты ниже 20 кГц не желательно из-за потенциальной опасности для человека и животных. Таким образом, диапазон частот для воздействия на туманы должен быть более 20 кГц.

Полученные значения частотного диапазона являются предельно возможными для газоструйных излучателей. Газоструйные излучатели на частоту 20 кГц не могут создавать излучение мощностью более 1...10 Вт из-за реализуемого физического принципа формирования колебаний (малых по диаметру сопла и резонатора).

Такой мощности излучения для коагуляции тумана недостаточно.

6. Неэффективностью перестройки по частоте газоструйных излучателей, осуществляемых изменением объема резонатора или изменением расстояния между соплом и резонатором [5]. Оба способа изменения частоты излучения приводят к нарушению оптимального режима возбуждения излучателя и снижению интенсивности генерируемых колебаний. Поэтому на практике используются одновременно несколько излучателей с различными размерами сопел и резонаторов для формирования колебаний различных частот, что увеличивает затраты на изготовление разных излучателей и использование нескольких компрессоров.

7. Невозможностью обеспечения наиболее эффективного режима акустического воздействия на туман в виде стоячей волны (двукратное увеличение амплитуды колебаний) или резонансного усиления за счет отражения, обусловленной негармонической формой акустических колебаний, генерируемых аэродинамическими излучателями.

Для частичного устранения недостатков (исключения необходимости использования компрессоров, снятия ограничений по частотному диапазону, обеспечения синусоидального характера излучения) известных устройств в последние годы начали использоваться устройства электрофизического воздействия на аэрозоли, основанные на преобразовании энергии электрического тока в энергию акустических колебаний (пьезоэлектрические преобразователи).

Среди известных устройств электрофизического воздействия на аэрозоли для рассеивания туманов наиболее близким по технической сущности к предлагаемому техническому решению является устройство по патенту Великобритании [6], принятое за прототип.

Устройство электрофизического воздействия на аэрозоли, принятое за прототип, содержит последовательно расположенные и акустически связанные между собой пьезоэлектрический преобразователь, концентратор механических колебаний и излучатель.

Пьезоэлектрический преобразователь выполнен по известной схеме преобразователя Ланжевена из последовательно размещенных и акустически связанных - отражающей частотно-понижающей накладке цилиндрической формы, пьезоэлектрических элементов и рабочей частотно-понижающей накладки цилиндрической формы. Пьезоэлектрический преобразователь совершает продольные колебания на резонансной частоте, определяемой продольным размером (длиной) всей конструкции.

В качестве источника, создающего ультразвуковые колебания в воздушной среде в прототипе, использован плоский излучатель круглой формы, совершающий изгибные колебания. Волновое сопротивление изгибно колеблющегося излучателя лучше согласуется с волновым сопротивлением газа. Это обеспечивает увеличение выхода энергии в газовые среды в сравнении с выходом энергии от продольно колеблющегося пьезоэлектрического преобразователя и увеличение площади излучающей поверхности. Излучатель возбуждается акустически связанным с ним продольно колеблющимся пьезоэлектрическим преобразователем, питаемым электронным генератором ультразвуковых частот, и совершает колебания на собственной частоте и на частотах, кратных основной частоте (гармониках).

Поскольку основная частота изгибных колебаний дисков диаметром от 250 мм до 1000 мм находится в области низких частот (не более 1...3 кГц), на практике используются колебания дисковых излучателей, возбуждаемых на 3...11 гармониках или высокочастотных модах колебаний (более 20 кГц). Такие требования обусловлены геометрическими размерами и требованием обеспечить излучение в области ультразвуковых частот.

Излучатели, обеспечивающие преобразование энергии продольных колебаний пьезоэлектрического преобразователя в изгибные колебания дисков, лишены части перечисленных недостатков известных устройств, однако основные из них не устранены.

Основным недостатком устройства электрофизического воздействия на аэрозоли, принятого за прототип, является то, что такое устройство может создавать в воздушной среде колебания только одной резонансной частоты, соответствующей одной из гармоник собственной частоты дискового излучателя и равной собственной резонансной частоте продольных колебаний пьезоэлектрического преобразователя.

Прототип характеризуется низкой эффективностью излучения в газовые среды, что обусловлено тем, что излучение поверхности дискового излучателя, совершающего изгибные колебания, происходит с различными фазами, что обуславливает некогерентное сложение колебаний на удаленном расстоянии от излучателя. Сложение колебаний, имеющих различные фазы, приводит к уменьшению эффективности излучения.

Таким образом, устройство, принятое за прототип, не позволяет использовать все преимущества ультразвукового воздействия и реализовать процесс рассеивания туманов с максимальной эффективностью.

Принципиальная возможность создания ультразвуковых колебаний различных частот при помощи изгибно колеблющихся дисковых излучателей существует, поскольку дисковый излучатель может совершать колебания на различных модах и гармонических составляющих основной частоты излучателя. Однако излучатель может совершать колебания на заданной частоте, соответствующей одной из мод колебаний диска только при обеспечении возбуждения на этой частоте. Входящий в состав устройства пьезоэлектрический преобразователь может совершать колебания

только на одной рабочей частоте и не способен обеспечить возбуждение излучателя на нескольких частотах.

В предлагаемом устройстве электрофизического воздействия на аэрозоли, содержащем последовательно расположенные и акустически связанные между собой пьезоэлектрический преобразователь, концентратор механических колебаний и излучатель в виде диска, пьезоэлектрический преобразователь содержит рабочую частотно-понижающую накладку, выполненную в виде тела вращения переменного диаметра, ограниченную со стороны акустического соединения с концентратором механических колебаний плоской торцевой поверхностью, а с противоположной стороны - поверхностью, образованной плоскими гранями, расположенными симметрично относительно продольной акустической оси на расстояниях от центра плоской торцевой поверхности, кратных нечетному числу четвертей длин волн продольных колебаний в материале частотно-понижающей накладки, соответствующих модам и гармоническим составляющим основной частоты диска, с каждой гранью поверхности рабочей частотно-понижающей накладки акустически связана одна торцевая поверхность пакета, состоящего из четного количества пьезоэлектрических элементов, причем число пакетов пьезоэлектрических элементов равно числу плоских граней, другая торцевая поверхность каждого пакета пьезоэлектрических элементов акустически связана с отражательной частотно-понижающей накладкой, число которых равно числу пакетов пьезоэлектрических элементов, а акустическая длина каждого пакета пьезоэлементов и связанной с ним отражающей частотно-понижающей накладки кратны четверти длины продольной акустической волны, соответствующей рабочим частотам диска, перед излучающей поверхностью дискового излучателя, на расстоянии, соответствующем половине длины волны излучаемых колебаний в воздухе, размещена перфорированная пластина, причем перфорации расположены концентрически, их ширина соответствует половине длины волны изгибных УЗ-колебаний в материале диска, количество концентрических перфораций выбрано из условия излучения изгибных колебаний с одинаковыми фазами.

В предлагаемом устройстве электрофизического воздействия на аэрозоли задача повышения эффективности рассеивания туманов решается за счет:

- использования в составе устройства плоского излучателя дисковой формы, совершающего изгибные колебания (обеспечивающего больший выход энергии, поскольку волновое сопротивление изгибно колеблющегося излучателя лучше согласуется с волновым сопротивлением газа) на частотах, кратных основной или соответствующих высокочастотным модам колебаний, при его возбуждении акустически связанным с ним продольно колеблющимся многочастотным пьезоэлектрическим преобразователем, питаемым перестраиваемым по частоте электронным генератором ультразвуковых частот;
- за счет создания устройства, способного формировать ультразвуковые колебания высокой интенсивности, частота которых может дискретно уменьшаться по мере изменения дисперсного состава взвешенных частиц в процессе осаждения тумана. Дискретное изменение частоты излучения происходит за счет возбуждения устройства многорезонансным пьезоэлектрическим преобразователем без снижения эффективности излучения, поскольку предложенное устройство позволяет обеспечивать работу излучателя на различных по частоте колебаниях путем последовательного возбуждения требуемой частоты пьезоэлектрическим преобразователем, продольный размер которого ступенчато изменяется со стороны,

не контактирующей с излучателем, таким образом, что длина каждого продольного участка преобразователя изменяется ступенчато и соответствует резонансной длине одной из гармоник или мод изгибных колебаний излучателя;

5 - обеспечения излучения УЗ-колебаний поверхности излучателя с одной фазой, что обеспечивает сложение в фазе излучения колебаний ультразвукового диапазона на удаленном расстоянии от излучателя (в дальней зоне излучения);

10 - обеспечения 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 на чертеже, на котором схематично представлено предлагаемое устройство электрофизического воздействия на аэрозоли для рассеивания тумана.

15 Предлагаемое устройство состоит из плоского излучателя 1 ультразвуковых колебаний дисковой формы, изгибно колеблющегося на частотах, кратных основной (частотах, дискретно изменяющихся в диапазоне, например от 30 до 20 кГц), акустически и механически соединенного с ультразвуковой колебательной системой.

20 Ультразвуковая колебательная система в свою очередь состоит из преобразователя 3, к которому присоединен концентратор 2 с одной стороны, а с противоположной стороны присоединены несколько пьезоэлектрических элементов 4 с отражающими частотнопонижающими накладками 5 различной длины. Пьезоэлектрический преобразователь питается от генератора электрических колебаний ультразвуковой частоты (не показан). Перед излучающей поверхностью дискового излучателя 1 на расстоянии, соответствующем половине длины волны излучаемых колебаний в воздухе, размещена перфорированная пластина 6, причем перфорации расположены концентрически, их ширина соответствует половине длины волны изгибных УЗ-колебаний в материале диска на заданной частоте, количество концентрических перфораций выбрано из условия излучения изгибных колебаний с одинаковыми фазами.

25 Предлагаемое устройство электрофизического воздействия на аэрозоли для рассеивания тумана работает следующим образом. При возникновении тумана и ухудшении дальности видимости ниже некоторого определенного значения производится включение генератора, электрические колебания, частота которых соответствует максимальной частоте колебаний дискового излучателя, подаются на электроды пьезоэлектрических элементов, происходит преобразование электрических колебаний подаваемой частоты всеми пьезоэлементами, однако выделяются и усиливаются только механические колебания, соответствующие резонансной длине только одного (самого короткого) участка преобразователя с концентратором, продольные колебания преобразователя через концентратор подводятся к дисковому излучателю и возбуждают его на резонансной частоте, соответствующей одной из мод или гармонических составляющих основной частоты изгибных колебаний дискового излучателя.

35 Расположенная перед излучающей поверхностью дискового излучателя 1 перфорированная пластина 6 обеспечивает излучение в направлении тумана колебаний с одинаковыми фазами.

50 Создаваемое излучение осуществляет воздействие ультразвуковыми колебаниями в направлении образования тумана до момента изменения дисперсного состава (укрупнения частиц). Затем происходит переключение генератора на более низкую

частоту, соответствующую следующей рабочей частоте дискового излучателя, и так процесс происходит до установления необходимой дальности видимости. Возможно поочередное автоматическое переключение рабочей частоты генератора, что способствует охлаждению отработавших пьезопреобразователей. Необходимость работы каждого преобразователя только часть всего времени воздействия позволяет увеличить мощность излучения каждого преобразователя, не опасаясь его термического перегрева до температуры Кюри и потери пьезоэлектрических свойств.

Разработанное устройство имеет следующие технические характеристики: уровень интенсивности формируемых акустических колебаний на расстоянии 5 м не менее 140 дБ; частота колебаний генерируемых изгибно-колеблющимся дисковым излучателем от 20 до 30 кГц; максимальная амплитуда (размах амплитуды) колебаний дискового излучателя до 100 мкм; диаметр излучающего диска - 360 мм; материал дискового излучателя и концентратора - титановый сплав. При реализации процесса коагуляции излучатель последовательно возбуждается многочастотным пьезоэлектрическим преобразователем на нескольких модах или гармониках основной частоты изгибно-колеблющегося диска, что позволяет обеспечивать излучение УЗ-колебаний с частотами 30, 27, 24, 20 кГц.

Для определения эффективности созданного устройства для рассеивания туманов были проведены экспериментальные исследования в малой аэрозольной камере объемом 1000 м<sup>3</sup>. Водный туман создавался при помощи ультразвуковых распылителей аэрозоля. При проведении экспериментов электрическая мощность, потребляемая ультразвуковым излучателем, не превышала 200 Вт. После включения излучателя рассеивание сформированного тумана произошло в течении 17 сек.

Приведенные значения показывают эффективность предлагаемого технического решения и перспективность его применения.

Практическая реализация предлагаемого технического решения запланирована к реализации ООО «Центр ультразвуковых технологий» в 2009 году в рамках федеральной целевой программы "Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007-2012 годы" и по гранту Президента Российской Федерации для поддержки молодых российских ученых - кандидатов наук и их научных руководителей № МК-383.2008.8.

Список литературы, использованной при составлении заявки

1. Гершгал Д.А., Фридман В.М. Ультразвуковая технологическая аппаратура. - М.: Энергия, 1976. - 318 с.

2. Страус В. Промышленная очистка газов [Текст]. / В. Страус; пер. с англ. изд. Ю.А.Косого. - М.: Химия, 1981. - 616 с.

3. Юдаев Б.Ф. Акустическая коагуляция аэрозолей. Бюллетень строительной техники, 2004, №6.

4. Богаткин О.Г. Анализ и прогноз погоды для авиации [Текст]. / О.Г. Богаткин, В.Д. Еникеева. - Л.: Гидрометеиздат, 1985. - 270 с.

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

6. Ultrasonic power emitter [Текст]: пат. 2029159 Великобритания: МПК 6 B06B 1/06; G10K13/00, H04R 17/00. / Juan A Gallego Juarez, Lius Gaete Gar-reton, German Rodriguez Corral (Испания) патентообладатель: CONSEJO SUPERIOR INVESTIGACION (Испания) заявка: №7834449 от 24.08.1978. Опубликовано: 12.03.1980. - прототип.

Формула изобретения



Устройство электрофизического воздействия на аэрозоли, включающее последовательно расположенные и акустически связанные между собой пьезоэлектрический преобразователь, концентратор механических колебаний и излучатель в виде диска, отличающееся тем, что пьезоэлектрический преобразователь  
5 содержит рабочую частотно-понижающую накладку, выполненную в виде тела вращения переменного диаметра, ограниченную со стороны акустического соединения с концентратором механических колебаний плоской торцевой поверхностью, а с противоположной стороны - поверхностью, образованной  
10 плоскими гранями, расположенными симметрично относительно продольной акустической оси на расстояниях от центра плоской торцевой поверхности, кратных нечетному числу четвертей длин волн продольных колебаний в материале частотно-понижающей накладки, соответствующих модам и гармоническим составляющим основной частоты диска, с каждой гранью поверхности рабочей частотно-  
15 понижающей накладки акустически связана одна торцевая поверхность пакета, состоящего из четного количества пьезоэлектрических элементов, причем число пакетов пьезоэлектрических элементов равно числу плоских граней, другая торцевая поверхность каждого пакета пьезоэлектрических элементов акустически связана с  
20 отражательной частотно-понижающей накладкой, число которых равно числу пакетов пьезоэлектрических элементов, а акустическая длина каждого пакета пьезоэлементов и связанной с ним отражающей частотно-понижающей накладки равны четверти длины продольной акустической волны, соответствующей рабочим частотам диска, перед излучающей поверхностью дискового излучателя на  
25 расстоянии, соответствующем половине длины волны излучаемых колебаний в воздухе, размещена перфорированная пластина, причем перфорации расположены концентрически, их ширина соответствует половине длины волны изгибных УЗ колебаний в материале диска, количество концентрических перфораций выбрано из  
30 условия излучения колебаний с одинаковыми фазами.

35

40

45

50

