

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

(19) **RU** (11) **195 247** (13) **U1**ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(51) МПК

[F26B 5/02 \(2006.01\)](#)[F26B 3/02 \(2006.01\)](#)

(52) СПК

[F26B 5/02 \(2019.08\)](#)[F26B 3/02 \(2019.08\)](#)(12) **ОПИСАНИЕ ПОЛЕЗНОЙ МОДЕЛИ К ПАТЕНТУ**

Статус: действует (последнее изменение статуса: 27.01.2020)

(21)(22) Заявка: [2019128227](#), 06.09.2019(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
06.09.2019Дата регистрации:  
21.01.2020

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 06.09.2019

(45) Опубликовано: [21.01.2020](#) Бюл. № [3](#)(56) Список документов, цитированных в отчете о  
поиске: RU 2239137 C1, 27.10.2004. RU  
2656541 C1, 05.06.2018. RU 147237 U1,  
27.10.2014. WO 2010090690 A1, 12.08.2010.  
KR 1020120072101 A, 03.07.2012. CN  
0207113423 U, 16.03.2018. US 10006704 B2,  
26.06.2018.

Адрес для переписки:

659305, Алтайский край, г.Бийск, ул.  
Трофимова, 27, корп. Б, к. 101/1, Общество  
с ограниченной ответственностью "Центр  
ультразвуковых технологий АлтГТУ",  
Хмелев Максим Владимирович

(72) Автор(ы):

Хмелев Владимир Николаевич (RU),  
Шалунов Андрей Викторович (RU),  
Хмелев Максим Владимирович (RU),  
Нестеров Виктор Александрович (RU),  
Тертишников Павел Павлович (RU),  
Цыганок Сергей Николаевич (RU)

(73) Патентообладатель(и):

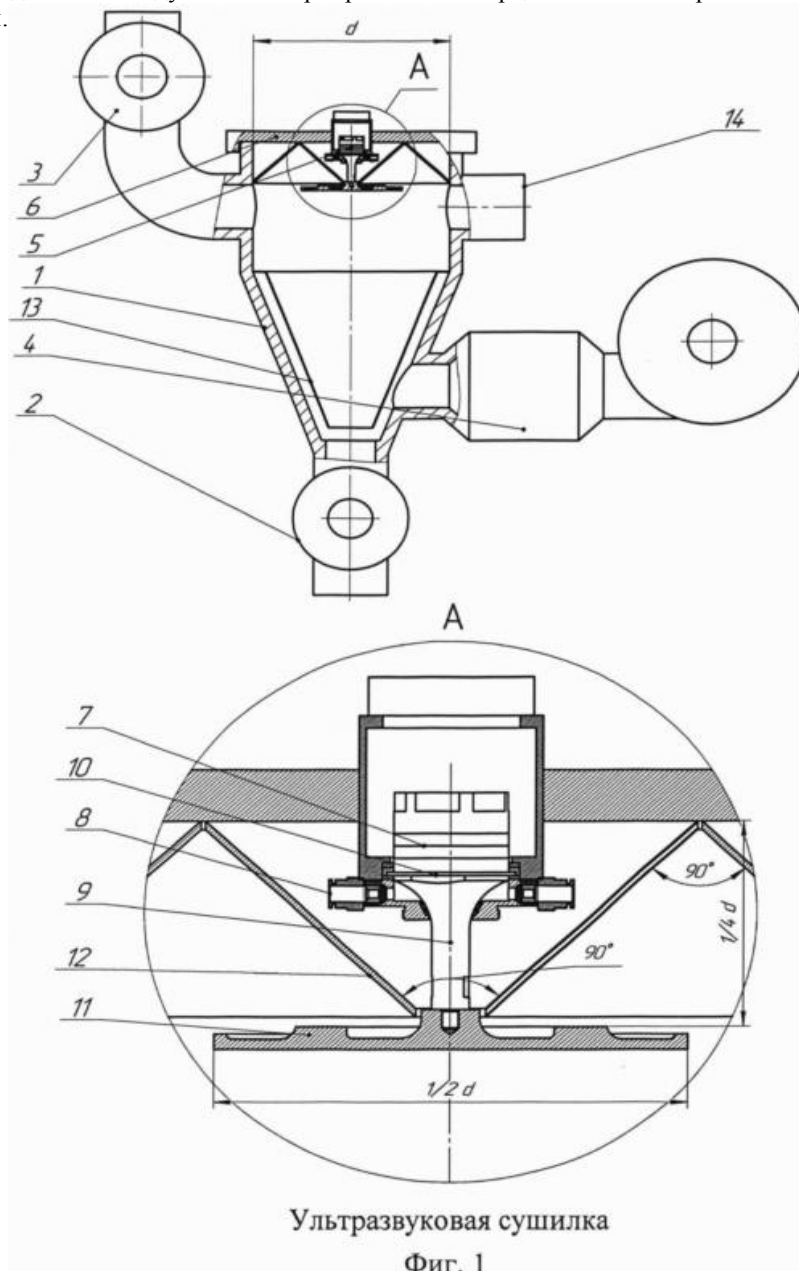
Общество с ограниченной  
ответственностью "Центр ультразвуковых  
технологий АлтГТУ" (RU)

(54) Ультразвуковая сушилка

(57) Реферат:

Техническое решение - полезная модель относится к области техники, связанной с созданием оборудования для реализации сушки различных материалов при помощи ультразвуковых колебаний высокой интенсивности. Ультразвуковая сушилка содержит сушильную камеру с источником ультразвуковых колебаний в виде пьезоэлектрической колебательной системы, состоящей из связанных между собой пьезоэлектрического преобразователя с жидкостной системой охлаждения, концентратора колебаний и излучателя в виде металлического диска, с плоской фронтальной излучающей поверхностью и ступенчатым профилем тыльной стороны. Геометрические размеры и форма тыльной поверхности выбраны из условия формирования, нарастающих по амплитуде к периферии диска колебаний, диаметр диска равен половине диаметра внутреннего объема сушильной камеры, а расстояние между поверхностью тыльной стороны диска и поверхностью торцевой стенки сушильной камеры выбрано равным половине диаметра диска. На внутренней поверхности торцевой стенки сушильной камеры размещен отражатель ультразвуковых колебаний, выполненный в виде двух концентрически расположенных усеченных конусов с углом разворота, равным 90 градусов, конусы

соединены между собой и прикреплены к торцевой стенке верхними основаниями. 2 ил.



Техническое решение - полезная модель относится к области техники, связанной с созданием оборудования для реализации технологических процессов сушки различных материалов и с применением акустических (ультразвуковых) колебаний для интенсификации сушки материалов, а именно к устройствам для повышения эффективности (производительности процесса и качества конечного продукта) сушки при помощи ультразвуковых колебаний высокой интенсивности.

Техническое решение может быть использовано для создания современной материально-технической базы во всех областях промышленности и сельского хозяйства, где одним из технологических этапов является сушка.

Процесс сушки, заключающийся в удалении влаги из материала, с одной стороны, является одним из ключевых этапов различных технологических процессов, с другой стороны, одной из самых затратных стадий переработки продукции. Эффективность реализации процесса сушки в значительной степени определяет качество и себестоимость конечного продукта.

Интенсификация процесса удаления влаги из материалов под действием ультразвуковых колебаний высокой интенсивности (ультразвуковая сушка) характеризуется рядом специфических особенностей.

- Интенсификация процесса сушки происходит только при высоких интенсивностях колебаний. В случае воздействия на материалы колебаниями низкой интенсивности (менее 130 дБ) процесс сушки ничем не отличается от конвективной сушки. То есть существует «критический» уровень воздействия, при котором осуществляется акустическая сушка.

- Большинство экспериментальных работ свидетельствуют о нелинейной зависимости интенсивности сушки от величины интенсивности воздействия. Установлено, что, начиная с интенсивности акустических колебаний в 140-160 дБ, процесс удаления влаги идет по экспоненциальному закону.

До настоящего времени считалось, что наиболее эффективной является ультразвуковая сушилка, основанная на применении газоструйных преобразователей, обеспечивающих формирование акустических (ультразвуковых) колебаний высокой интенсивности в газовой среде. Поэтому было разработано большое количество устройств ультразвуковой сушки [1-2], основанных на использовании газоструйных преобразователей.

Наиболее эффективным является устройство акустической сушки [3], разработанное в Институте теоретической и прикладной механики СО РАН. Устройство акустической сушки представляет собой сушильную камеру для сушки материала, размер которой превосходит объем высушиваемого материала, размещении в этой камере газоструйного преобразователя, подаче через него в объем сжатого воздуха, преобразовании энергии потока газа в энергию упругих колебаний, распространении акустических колебаний к поверхности высушиваемого материала для удаления заданного количества влаги.

Такое устройство позволяет обеспечить акустическую сушку материалов, однако имеет следующие недостатки:

1. Низкую эффективность сушки, обусловленную тем, что на практике обеспечивается незначительное превышение «критического» уровня звукового давления. Этот недостаток приводит к длительному времени сушки.
2. Невозможность повышения эффективности сушки за счет увеличения уровня звукового давления над уровнем «критического» давления, поскольку это требует увеличения давления газа, подаваемого в газоструйный излучатель и увеличения диаметра соплового отверстия. При этом увеличиваются расходы на создание сжатого воздуха и снижается рабочая частота излучателей, что требует усложнения систем акустической защиты от негативных воздействий на человека и окружающий природный мир (животных и растения). Для упрощения систем защиты сушилки делают в виде параллелепипедов, теряя в эффективности применения энергии колебаний.
3. Газоструйные излучатели работают в области акустических колебаний звуковой частоты, что обуславливает возможность негативного воздействия на человека и окружающий животный мир. Эффективность газоструйного излучателя при переходе в область ультразвуковых колебаний существенно падает. Так газоструйный излучатель на рабочую частоту в 20 кГц должен иметь размеры резонатора и соплового отверстия около 1 мм, что существенно ограничивает поток газа, используемого для преобразования в акустические колебания. По этой причине мощность формируемых колебаний не может быть более 10...100 Вт и эффективность такого воздействия на ультразвуковой частоте становится недостаточной для обеспечения эффекта акустической сушки в реальных объемах.

Для устранения недостатков имеющихся аналогов создана ультразвуковая сушилка [4], принятая за прототип (Патент РФ №2239137, кл. F26B 5/02). В качестве источника ультразвуковых колебаний (излучателя) использован металлический диск, совершающий изгибные колебания, возбуждаемые при помощи пьезоэлектрического преобразователя.

Излучатель размещается внутри сушильной камеры. Конструктивная схема сушильной камеры выполнена в форме тороида, представляющего собой объемную фигуру, имеющую в сечении два одинаковых усеченных эллипса.

Источник ультразвуковых колебаний в виде излучателя дисковой формы [5], располагается в общем для двух эллипсов фокусе. Диаметр излучателя дисковой формы не может превышать 300...400 мм

Материал для сушки размещают в области вторых фокусов. Это позволяет сконцентрировать ультразвуковое воздействие за счет многократных отражений УЗ колебаний от внутренней поверхности камеры на высушиваемый материал. Таким образом, ультразвуковая сушилка, принятая за прототип, позволяет повысить скорость сушки за счет рационального использования ультразвуковой энергии.

Ультразвуковая сушилка, принятая за прототип, сложна в изготовлении и ограничена количеством (массой) одновременно высушиваемого материала. Обусловлено это ограничением размера сушилки (диаметр не более 3 диаметров диска) и необходимостью размещения высушиваемого материала только в отдельных зонах сушильной камеры (материал размещают в области вторых фокусов). Поскольку нет возможности размещения высушиваемого материала точно в точках фокусирования колебаний, сушка материала происходит неравномерно.

Перечисленные недостатки ограничивает возможности ультразвуковой сушилки, приводит к существенному снижению производительности технологической операции сушки и потере качества конечного продукта, что делает такую сушилку экономически выгодной только для сушки особо ценных и дорогостоящих материалов при непрерывном перемешивании высушиваемого материала для обеспечения равномерности сушки.

Предлагаемое техническое решение направлено на устранение недостатков существующей ультразвуковой сушилки, и создание ультразвуковой сушилки способной обеспечить повышение производительности операций сушки и увеличение качества конечного продукта за счет обеспечения эффективного ультразвукового воздействия.

Кроме того, предлагаемое устройство позволит обеспечить повышение привлекательности самого метода ультразвуковой сушки, снижение стоимости процесса и позволит создать мобильные малогабаритные сушилки.

Суть предлагаемого технического решения заключается в том, что в известной ультразвуковой сушилке, содержащей сушильную камеру со звукоизолированными и теплоизолированными стенками, загрузочно-разгрузочным устройством, устройством подачи потока нагретого воздуха в сушильную камеру, системой контроля температуры и источником ультразвуковых колебаний, источник ультразвуковых колебаний выполнен в виде пьезоэлектрической колебательной системы, состоящей из последовательно расположенных и акустически связанных между собой пьезоэлектрического преобразователя с жидкостной системой охлаждения, концентратора механических колебаний, снабженного в узловой зоне минимальных колебаний крепежным фланцем и излучателя в виде металлического диска, с плоской фронтальной излучающей поверхностью и ступенчатым профилем тыльной стороны. Геометрические размеры и форма тыльной поверхности, выбирают из условия формирования, нарастающих по амплитуде к периферии диска колебаний на рабочей частоте, кратной основной частоте диска, диаметр диска равен половине диаметра внутреннего объема сушильной камеры, а расстояние между поверхностью тыльной стороны диска и поверхностью торцевой стенки сушильной камеры выбрано равным половине диаметра диска. На внутренней поверхности торцевой стенки сушильной камеры размещен отражатель ультразвуковых колебаний, выполненный в виде двух концентрически расположенных усеченных конусов с углом разворота, равным 90 градусов, каждый из которых имеет высоту, равную расстоянию между диском и внутренней поверхностью торцевой стенки, диаметры верхних оснований внутреннего и внешнего конусов равны и соответствуют диаметру диска, внешний конус имеет диаметр нижнего основания равный диаметру сушильной камеры, диаметр нижнего основания внутреннего конуса равен диаметру концентратора в месте присоединения к нему диска, конусы соединены между собой и прикреплены к торцевой стенке верхними основаниями.

Таким образом, в предлагаемом техническом решении задача реализации низкотемпературной ультразвуковой сушки решается за счет:

- бесконтактного воздействия ультразвуковыми колебаниями на частоте более 20 кГц, безопасной для человека и с интенсивностью в диапазоне 135-155 дБ, обеспечивающей возможность реализации процесса сушки без существенного нагрева высушиваемого материала;

- резонансного усиления ультразвуковых колебаний во внутреннем объеме сушильной камеры, обеспечиваемого путем выбора расстояния между дисковыми излучателями кратным половине длине ультразвуковых колебаний в воздухе;

- использования сушильного агента, нагретого до температуры не более 90°C, что позволяет сохранить ценные вещества, содержащиеся в высушиваемом материале, и позволяет сократить энергозатраты на нагрев воздуха.

Кроме того, благодаря тому, что геометрические размеры и форма тыльной поверхности диска выбраны из условия формирования, нарастающих по амплитуде к периферии диска колебаний на рабочей частоте, кратной основной частоте диска, диаметр диска равен половине диаметра внутреннего объема сушильной камеры, а расстояние между поверхностью тыльной стороны диска и поверхностью торцевой стенки сушильной камеры выбрано равным половине диаметра диска, а также благодаря применению отражателя, воздействие на высушиваемый материал осуществляется одновременно колебаниями, создаваемыми обеими сторонами плоского излучателя и равномерно.

Таким образом, обеспечивается равномерность ультразвукового воздействия по всему сушильному объему с излучающей поверхности, превосходящей площадь непосредственно излучателя как минимум вдвое.

Сущность технического решения поясняется фиг. 1, на которой схематично изображена предлагаемая ультразвуковая сушилка.

Ультразвуковая сушилка состоит из сушильной камеры со звукоизолированными и теплоизолированными стенками 1; разгрузочного и загрузочное устройств 2 и 3; устройства подачи потока нагретого воздуха в сушильную камеру с системой контроля температуры 4; источника ультразвуковых колебаний 5; крышки (торцевая стенка) - 6; пьезоэлектрического преобразователя - 7, имеющего жидкостную систему охлаждения - 8; концентратора (усилителя) механических колебаний - 9 с крепежным фланцем в узловой зоне минимальных колебаний - 10, соединенного с излучателем в виде металлического диска - 11; отражателя ультразвуковых колебаний в виде двух концентрически расположенных усеченных конусов - 12; В конструкции предусмотрены сетка для размещения высушиваемого материала - 13 и патрубков для выхода горячего влажного воздуха - 14.

Ультразвуковая сушилка работает следующим образом.

С помощью загрузочно-разгрузочного устройства ультразвуковой сушилки ее сушильная камера заполняют высушиваемым материалом. В процессе сушки осуществляется воздействие ультразвуковыми колебаниями высокой интенсивности до момента удаления необходимого количества влаги из материала. Ультразвуковое воздействие на высушиваемый материал обеспечивает уменьшение толщины

гидродинамического пограничного слоя вокруг каждой частички высушиваемого материала. Кроме того, ультразвуковые колебания проникают в материал и создают в нем быстро сменяющиеся зоны повышенного и пониженного давления, что интенсифицирует процессы переноса влаги из глубинных слоев к поверхности.

Во время сушки, с помощью ультразвуковых колебаний внутри сушильной камеры создаются конвекционные потоки, за счет того, что в объеме сушильной установки происходит забор воздуха из окружающего пространства, затем он нагревается в 4 до определенной температуры, после чего отработанный воздух удаляется.

Ультразвуковые колебания высокой интенсивности внутри сушильной камеры создает источник ультразвуковых колебаний 5, выполненный в виде пьезоэлектрической колебательной системы, состоящей из последовательно расположенных и акустически связанных между собой пьезоэлектрического преобразователя 7 с жидкостной системой охлаждения 8, концентратора механических колебаний 9, снабженного в узловой зоне минимальных колебаний крепежным фланцем 10 и излучателя в виде металлического диска 11, с плоской фронтальной излучающей поверхностью и ступенчатым профилем тыльной стороны.

Технические характеристики ультразвукового излучателя приведены в таблице 1.

**Таблица 1 - Технические характеристики ультразвукового излучателя.**

Наименование параметра	Значение
Размер излучателя, мм	Ø190
Максимальный уровень звукового давления (1 м), дБ	140
Частота колебаний, кГц	22±0,5
Потребляемая мощность, ВА, не менее	200

Для охлаждения пьезопреобразователя использована система воздушного и жидкостного охлаждения. Излучатель выполнен в виде титанового диска ступенчато переменного диаметра, работающий на 5-й кольцевой моде колебаний. Конструкция ультразвукового дискового излучателя выполнена таким образом, чтобы обеспечивалась линейное нарастание амплитуды колебаний каждого кольцевого участка к периферии.

Крайний по диаметру кольцевой участок излучателя колеблется с амплитудой не менее чем в два раза превосходящей амплитуду центрального участка.

Для повышения эффективности сушки система снабжена устройствами подачи 4 и отвода 14 сушильного воздуха. Разработанная сушильная камера позволяет реализовать ультразвуковую сушку материалов.

Использованная для проведения исследований ультразвуковая сушилка имела следующие технические характеристики: диаметр сушильной камеры 380 мм; материал стенок сушильной камеры - металл; максимальная загрузка сушильной камеры 25 кг.

Для определения эффективности предложенной и разработанной ультразвуковой сушилки были проведены экспериментальные исследования в специально отведенном помещении, при которых использовался дисковый излучатель с потребляемой электрической мощностью 200 Вт. Температура в сушильной камере поддерживалась на уровне 80-90°C, влажность окружающей среды 20-23%.

При определении функциональных возможностей ультразвуковой сушилки проведена серия экспериментов на двух различных веществах: горохе и полимерных гранулах.

На основе анализа сравнительных зависимостей результатов экспериментов сушки веществ теплом и сушки с помощью ультразвукового воздействия при одновременном тепловом воздействии в процессе сушки сухого гороха и полимерных гранул были получено, что сушка при помощи ультразвукового воздействия идет на 30-35% быстрее, чем сушка без ультразвукового воздействия. Проведенные эксперименты подтвердили эффективность ультразвуковой сушилки при сушке различных материалов

Ультразвуковую сушилку можно применять как автономно, так и в составе технологических линий для сушки различных материалов.

Устройство готовится для промышленного применения.

Список литературы, использованной при составлении заявки

1. Акустотермический способ сушки материалов [Текст]: патент 2215953 РФ: МПК F26 5/02 (2000.1) / F26B 7/00 (2000.01) / Глазнёв В.Н.; патентообладатель: Глазнёв Владимир Николаевич; заявка: 2001122696/06 от 10.08.2001. Опубликовано: 10.05.2003.

2. Способ сушки волокнистых материалов [Текст]: патент 2171959 РФ: МПК F26 5/02 (2000.1) / F26B 7/00 (2000.01) / Изгородин А.К., Сенченков Е.В., Семикин А.П.; патентообладатель: Ивановская государственная текстильная академия; Заявка: 99105625/06 от 18.03.1999. Опубликовано: 10.08.2001.

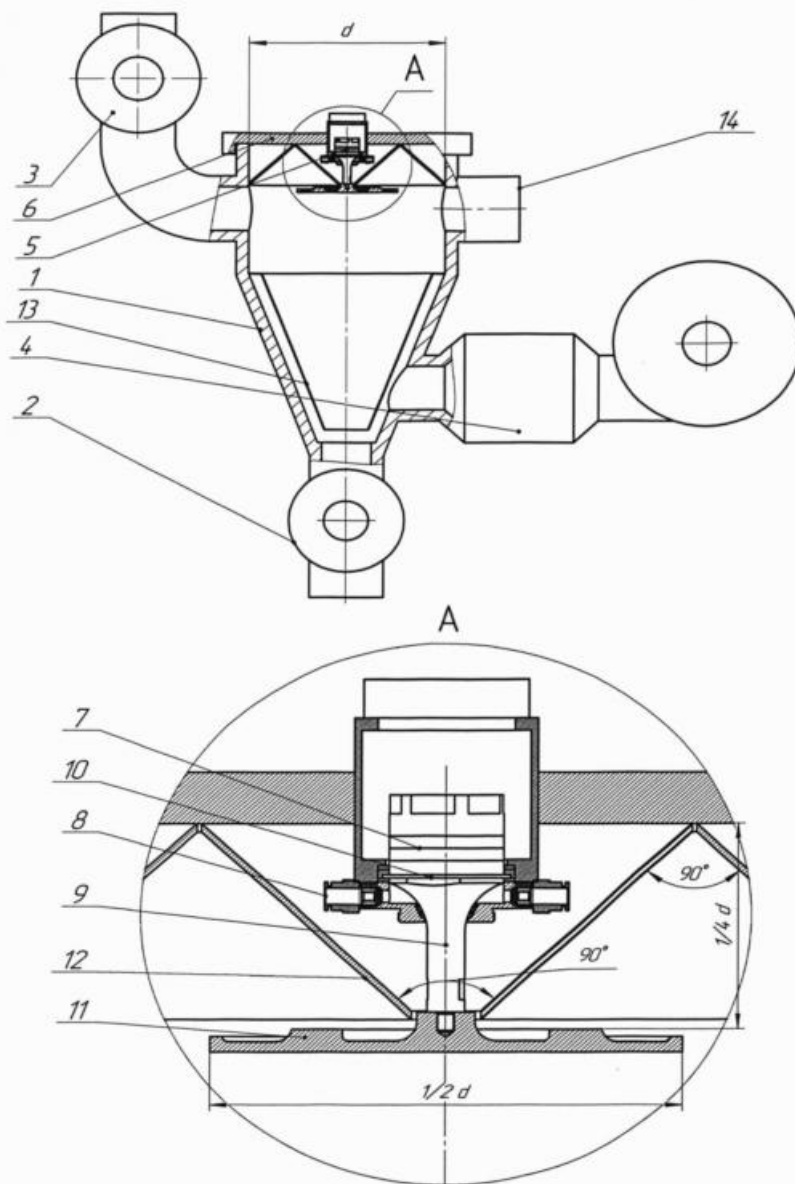
3. Способ акустической сушки капиллярно-пористых материалов [Текст]: патент 2062416 РФ: МПК F26B 5/02 (1996.01) / Глазнев В.Н., Глинский А.Б.; патентообладатель: Институт теоретической и прикладной механики СО РАН; заявка: 9494027716 от 22.07.1994. Опубликовано: 20.06.1996.

4. Способ сушки капиллярно-пористых материалов [Текст]: патент 2239137 РФ: МПК F26B 5/02 (2000.01) / F26B 7/00 (2000.01) / Хмельев В.Н., Заборовский А.Н.; патентообладатель: Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова" (АлтГТУ); заявка: 2003102919/06 от 31.01.2003. Опубликовано: 27.10.2004. - прототип

5. Ультразвуковая колебательная система для газовых сред: патент 132000 РФ МПК B06B 1/00 (2006.01) / Хмельев В.Н., Галахов А.Н., Шалунов А.В., Нестеров В.А., Голых Р.Н.; заявитель и патентообладатель: Общество с ограниченной ответственностью «Центр ультразвуковых технологий АлтГТУ»; заявка №2013123940/28 от 24.05.2013. Опубликовано: 10.09.2013.

#### Формула полезной модели

Ультразвуковая сушилка, содержащая сушильную камеру со звукоизолированными и теплоизолированными стенками, загрузочно-разгрузочным устройством, устройством подачи потока нагретого воздуха в сушильную камеру, системой контроля температуры и источником ультразвуковых колебаний, отличающаяся тем, что источник ультразвуковых колебаний выполнен в виде пьезоэлектрической колебательной системы, состоящей из последовательно расположенных и акустически связанных между собой пьезоэлектрического преобразователя с жидкостной системой охлаждения, концентратора механических колебаний, снабженного в узловой зоне минимальных колебаний крепежным фланцем, и излучателя в виде металлического диска с плоской фронтальной излучающей поверхностью и ступенчатым профилем тыльной стороны, геометрические размеры и форма тыльной поверхности выбирают из условия формирования нарастающих по амплитуде к периферии диска колебаний на рабочей частоте, кратной основной частоте диска, диаметр диска равен половине диаметра внутреннего объема сушильной камеры, а расстояние между поверхностью тыльной стороны диска и поверхностью торцевой стенки сушильной камеры выбрано равным половине диаметра диска, на внутренней поверхности торцевой стенки сушильной камеры размещен отражатель ультразвуковых колебаний, выполненный в виде двух концентрически расположенных усеченных конусов с углом разворота, равным 90 градусов, каждый из которых имеет высоту, равную расстоянию между диском и внутренней поверхностью торцевой стенки, диаметры верхних оснований внутреннего и внешнего конусов равны и соответствуют диаметру диска, внешний конус имеет диаметр нижнего основания, равный диаметру сушильной камеры, диаметр нижнего основания внутреннего конуса равен диаметру концентратора в месте присоединения к нему диска, конусы соединены между собой и прикреплены к торцевой стенке верхними основаниями.



Фиг. 1 Ультразвуковая сушилка