

(19)



**Евразийское
патентное
ведомство**

(11) **040123**(13) **B1**(12) **ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОМУ ПАТЕНТУ**

(45) Дата публикации и выдачи патента
2022.04.22

(51) Int. Cl. **G01F 1/66** (2006.01)

(21) Номер заявки
202100039

(22) Дата подачи заявки
2021.02.10

(54) УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ

(31) **20200109930**

(56) RU-C1-2582889
RU-C1-2396732
EP-A2-0198731
WO-A1-2012112339

(32) **2020.03.07**

(33) **RU**

(43) **2021.09.30**

(71)(73) Заявитель и патентовладелец:
**КАРПОВ МАКСИМ НИКОЛАЕВИЧ
(RU)**

(72) Изобретатель:
**Карпов Максим Николаевич, Юсупов
Лочин Норбаевич (RU)**

(74) Представитель:
Голиков А.П. (RU)

(57) Заявляемое изобретение относится к области приборостроения и может быть использовано в составе ультразвуковых расходомеров газа в качестве первичного преобразователя. Техническим результатом заявляемого ультразвукового пьезоэлектрического преобразователя является его способность работать в широком диапазоне температур (от минус 196 до плюс 330°C) и давлений (до 45 МПа) в газовой среде, иметь минимальные габаритные размеры и не иметь полимерных элементов, смазочных и клеевых соединений. Технический результат изобретения достигается решением технической задачи по созданию ультразвукового пьезоэлектрического преобразователя для передачи акустического сигнала в газовую среду и/или приема акустического сигнала из газовой среды, содержащего металлический корпус, по меньшей мере один пьезоэлектрический элемент, волновод, соединенный с нижней частью корпуса, пружину для поджатия пьезоэлектрического элемента, крышку, выводящие провода, характеризующегося тем, что пружина имеет верхнюю и нижнюю части, выполненные с внутренней резьбой, и среднюю часть, выполненную по меньшей мере с одним участком в форме сильфона; резьбовые части пружины соединены соответственно с резьбовыми концами волновода и резьбового элемента; пьезоэлектрический элемент прижимается к верхней поверхности волновода с помощью пружины и резьбового элемента, при этом величина усилия сжатия пьезоэлектрического элемента обеспечивается заворачиванием пружины на резьбовых концах волновода и резьбового элемента.

B1**040123****040123****B1**

Заявляемое изобретение относится к области приборостроения и может быть использовано в составе ультразвуковых расходомеров газа в качестве первичного преобразователя.

Известен пьезоэлектрический преобразователь, который содержит металлический корпус, имеющий цилиндрическую полость, в которой соосно полости последовательно от замыкающей стенки размещены протектор, пьезоэлемент, опорное кольцо и ниппель с отверстием, а также проводники, соединяющие электроды пьезоэлемента с сигнальным кабелем или разъемом. Замыкающая стенка выполнена в виде мембраны, которая может быть сделана за одно целое с корпусом или соединена с ним по контуру сваркой, а пьезоэлемент соединен с мембраной через протектор из материала с низким акустическим сопротивлением. Оптимальные толщины пьезоэлемента и протектора подбираются путем моделирования устройства методом конечных элементов. Между основным корпусом и ниппелем вводится одна, две или больше ступенчатых переходных секций, каждая из которых представляет собой сочетание соосных отрезков трубы малого и большого диаметра, соединяющихся между собой через плоские мембраны, а отдельные секции могут быть выполнены за одно целое с основанием либо могут соединяться с основанием и между собой сварными или клеевыми швами (патент РФ № 2604896, публ. 10.06.2019, МПК H04R 17/00 (2006.01)).

Недостатком данного пьезоэлектрического преобразователя является применение протектора, который состоит из эпоксидной смолы и полых стеклосфер. Эпоксидная смола в виду ее полимерных свойств не стабильна в изменчивых температурных условиях и это приводит к следующим последствиям: изменяются физические свойства эпоксидной смолы, такие как скорость распространения звука, плотность и акустическое сопротивление. В соответствии с перечисленными изменениями изменяется время задержки сигнала в преобразователе и это приводит к метрологическим погрешностям при измерениях времени пролета ультразвукового сигнала через газ между преобразователями ультразвукового расходомера.

Известен пьезоэлектрический преобразователь для передачи звуковой энергии в жидкость или приёма звуковой энергии из жидкости, содержащий металлический корпус, имеющий цилиндрическую полость с замыкающей стенкой на одном конце и открытую на противоположном конце, в которой соосно полости последовательно от замыкающей стенки размещены пьезоэлемент, демпфер, пружинящая шайба, диаметром немного меньше диаметра внутренней полости и ниппель с отверстием, а также проводники, соединяющие электроды пьезоэлемента с сигнальным кабелем или разъемом, характеризующийся тем, что замыкающая стенка выполнена в виде мембраны, причем мембрана может быть сделана за одно целое с корпусом или соединена с ним по контуру сваркой, а пьезоэлемент соединен с мембраной через протектор толщиной, равной длине ультразвуковой волны в протекторе, с помощью клея и/или поджат к ней пружинящей шайбой, а толщина мембраны h в зависимости от плотности материала определяется из соотношения: $h=A/\rho$, где A - коэффициент, равный от 0,4 до 4 кг/м², ρ - плотность материала мембраны, кг/м³. (патент РФ № 2445748, публ. 20.03.2012, МПК H04R 1/44, H04R 17/00 (2006.01)).

Недостатком данного пьезоэлектрического преобразователя является то, что пьезоэлемент поджат или приклеен. Клеевое соединение ввиду своих полимерных свойств не стабильно при изменчивых температурных условиях и приводит к разрушению пьезокерамики из-за разницы коэффициента температурного расширения клея, пьезокерамического элемента и протектора, сделанного из титана или из нержавеющей стали. А при поджатии пьезоэлемента к протектору без применения клея приведет к ухудшению акустического согласования между пьезоэлементом и протектором. При применении данного преобразователя в газовой среде его эффективность сильно ухудшится из-за низкого акустического сопротивления газа.

Известен ультразвуковой пьезоэлектрический преобразователь, содержащий звукопровод, на верхней поверхности которого расположено нижнее основание пустотелого цилиндрического корпуса, внутри которого расположены пьезоэлемент, имеющий верхний и нижний электроды; изолятор, установленный своей нижней поверхностью на верхней поверхности звукопровода, а верхней поверхностью - на нижней поверхности пьезоэлемента; промежуточный элемент, расположенный между пьезоэлементом и пружиной, верхняя часть которой расположена на внутренней поверхности крышки, и крышку с отверстием для вывода проводников, соединенных с верхним и нижним электродами пьезоэлемента, характеризующийся тем, что промежуточный элемент выполнен, например, в виде муфты, имеющей по меньшей мере одно отверстие, через которое проходят проводники от электродов пьезоэлемента, и установленной на соприкасающейся с ней части площади верхней поверхности пьезоэлемента, причем площадь контакта муфты с верхней поверхностью пьезоэлемента составляет от 5 до 50% верхней поверхности площади пьезоэлемента, удельное акустическое сопротивление материала муфты составляет 5-17% от удельного акустического сопротивления материала пьезоэлемента, а пьезоэлемент, изолятор и звукопровод соединены акустически прозрачными слоями, пружина установлена с возможностью передачи прижимного усилия через муфту на пьезоэлемент, изолятор и звукопровод. Кроме того, ультразвуковой пьезоэлектрический преобразователь характеризуется тем, что пространство между деталями преобразователя и полого цилиндрического корпуса может быть заполнено компаундом, имеющим низкое удельное акустическое сопротивление. Кроме того, ультразвуковой пьезоэлектрический преобразователь характеризуется тем, что между пружиной и муфтой может быть расположена деталь, выполненная, например, в виде металлической втулки, установленной своей нижней поверхностью на основании муфты, а нижняя

часть пружины установлена по торцу верхней поверхности втулки (патент РФ № 2582889, публ. 27.04.2016, МПК H04R 17/00 (2006.01)).

Как наиболее близкое по совокупности существенных признаков и достигаемому результату принимаем техническое решение по вышеприведенному патенту РФ № 2582889 за прототип.

Недостатком данного ультразвукового преобразователя является то, что излучающая площадь звукопровода (или волновода) меньше, чем диаметр самого преобразователя из-за чего данный преобразователь имеет низкую чувствительность. Кроме того, данная конструкция пьезоэлектрического преобразователя имеет ограниченный диапазон рабочей температуры, что связано с использованием муфты из пластмассы, а также из-за клея между пьезоэлементом и изолятором. Пластмасса ввиду ее полимерных свойств быстро устаревает при изменчивых температурных условиях, также могут измениться физические свойства, например скорость распространения звука, плотность, акустическое сопротивление. Такие изменения нельзя компенсировать или диагностировать в процессе работы пьезоэлектрического преобразователя в составе ультразвукового расходомера, поэтому логическим последствием является систематическая метрологическая погрешность ультразвукового расходомера.

Техническим результатом заявляемого ультразвукового пьезоэлектрического преобразователя является его способность работать в широком диапазоне температур (от минус 196 до плюс 330°C) и давлений (до 45МПа) в газовой среде, иметь минимальные габаритные размеры и не иметь полимерных элементов, смазочных и клеевых соединений. Результат подтвержден на экспериментальных образцах изобретения. Аналогично проверялись образцы аналогов и прототипа.

Кроме того, заявляемое техническое решение позволяет изготовить ультразвуковой пьезоэлектрический преобразователь с малыми габаритными размерами, что важно, так как большие габариты ультразвукового преобразователя сильнее влияют на профиль скорости газа в трубопроводе. Таким образом, минимальные габариты уменьшают неопределенность при построении профиля скорости газа в трубопроводе и повышают точность измерений ультразвукового расходомера.

Технический результат изобретения достигается решением технической задачи по созданию ультразвукового пьезоэлектрического преобразователя для передачи акустического сигнала в газовую среду и/или приема акустического сигнала из газовой среды, содержащего металлический корпус, по меньшей мере один пьезоэлектрический элемент, волновод, соединенный с нижней частью корпуса, пружину для поджатия пьезоэлектрического элемента, крышку, выводящие провода, характеризующегося тем, что

пружина имеет верхнюю и нижнюю части, выполненные с внутренней резьбой и среднюю часть, выполненную по меньшей мере с одним участком в форме сильфона;

резьбовые части пружины соединены соответственно с резьбовыми концами волновода и резьбового элемента;

пьезоэлектрический элемент прижимается к верхней поверхности волновода с помощью пружины и резьбового элемента, при этом величина усилия сжатия пьезоэлектрического элемента обеспечивается заворачиванием пружины на резьбовых концах волновода и резьбового элемента.

Конструктивное выполнение резьбового элемента и его размещение внутри корпуса преобразователя могут быть самыми различными, например в виде опорной резьбовой втулки, как это представлено ниже в варианте исполнения изобретения.

Кроме того, ультразвуковой пьезоэлектрический преобразователь характеризуется тем, что пьезоэлектрический элемент выполнен в виде поляризованного пьезоэлектрического кольца, преимущественно двух или более поляризованных пьезоэлектрических колец, образующих пьезоэлектрический пакет.

Кроме того, ультразвуковой пьезоэлектрический преобразователь характеризуется тем, что корпус выполнен из двух частей, соединенных друг с другом неразъемно и герметично с помощью резьбовой вставки.

Кроме того, ультразвуковой пьезоэлектрический преобразователь характеризуется тем, что корпус имеет гофрированные участки, при этом, в одном из вариантов исполнения, гофры выполнены путем нарезания винтовых желобков как снаружи, так и внутри корпуса.

Кроме того, ультразвуковой пьезоэлектрический преобразователь характеризуется тем, что волновод имеет одну или более соосных с волноводом убывающих по диаметру ступеней (ступенчатого концентратора), соответствующих профилю на нижней части корпуса, нижняя донная часть волновода имеет преимущественно плоскую поверхность с диаметром окружности, соответствующим наружному диаметру корпуса преобразователя, на внутренней донной части волновода выполнена заедино центральная часть преимущественно цилиндрической формы с плоской верхней поверхностью, на которую устанавливаются пьезоэлектрические кольца. Ступенчатый профиль волновода в варианте исполнения выполнен на боковой кромке волновода.

Кроме того, ультразвуковой пьезоэлектрический преобразователь характеризуется тем, что волновод и пружина выполнены из титана.

Кроме того, ультразвуковой пьезоэлектрический преобразователь характеризуется тем, что опорная резьбовая втулка выполнена из стали.

Заявляемое изобретение поясняется прилагаемыми фигурами, где

фиг. 1 - ультразвуковой пьезоэлектрический преобразователь (вертикальное сечение);

фиг. 2 - волновод (фрагмент ступенчатого соединения с нижней кромкой нижней части корпуса);
фиг. 3 - амплитудно-частотные характеристики ультразвукового пьезоэлектрического преобразователя;

фиг. 4 - измерение диаграммы направленности;

фиг. 5 - форма сигнала на принимающем преобразователе;

фиг. 6 - внешний вид ультразвукового пьезоэлектрического преобразователя;

фиг. 7 - фото экспериментального образца ультразвукового пьезоэлектрического преобразователя.

Ультразвуковой пьезоэлектрический преобразователь (далее - преобразователь) для передачи акустического сигнала в газовую среду и/или приема акустического сигнала из газовой среды в основном, но не единственном, варианте исполнения содержит металлический корпус 1, состоящий из двух частей - нижней и верхней (определение положения относится исключительно к положению преобразователя на фиг. 1), соединенных друг с другом с помощью резьбовой вставки 2 и герметизированных сварным швом между собой.

Снизу к нижней стороне нижней части корпуса 1 крепится герметично волновод (звуковод - в прототипе) 3 по наружной боковой кромке, которая имеет специальный ступенчатый профиль (фиг. 1 и 2) в виде ступенчатого концентратора. Нижняя часть волновода 3 имеет преимущественно плоскую поверхность с диаметром окружности, соответствующей наружному диаметру корпуса преобразователя. На внутренней донной части волновода выполнена заедино центральная часть преимущественно цилиндрической формы с плоской верхней поверхностью, преимущественно - кольцевой поверхностью, на которую устанавливаются пьезоэлектрические кольца 4, преимущественно два или более поляризованных пьезоэлектрических колец, образующих пьезоэлектрический пакет.

Между пьезоэлектрическими кольцами размещаются тонкие металлические кольцевые электроды 5. Пьезоэлектрический пакет прижимается с рассчитанным усилием к верхней центральной поверхности волновода 3 с помощью специальной пружины 6 и опорной резьбовой втулки 7. Пружина 6 имеет верхнюю и нижнюю части, выполненные с внутренней резьбой, которая имеет разнонаправленность для этих частей (левая и правая резьба) и среднюю утоненную часть (оболочку), с геометрией, позволяющей при заворачивании пружины на резьбовые концы верхней цилиндрической части волновода 3 и резьбовой втулки 7 создавать регулируемый пружинящий эффект сжатия пьезоэлектрического пакета. Пружина 6 является одной из ключевых деталей в ультразвуковом пьезоэлектрическом преобразователе. Она поджимает пьезоэлектрический пакет максимальным постоянным усилием сжатия и имеет длинный линейный ход. В предложенной конструкции пружины 6 имеется как минимум один участок в форме сильфона, который работает как пружина.

Резьбовая втулка 7 имеет центральное отверстие, изолированное по периметру с помощью не токопроводящей керамической трубки 8 для вывода сигнального провода 9, приваренного к пластинчатому кольцевому электроду 5 с одного конца и с другого конца приваренного или припаянного к сигнальному проводу 10, припаянному к разъему 11 ультразвукового пьезоэлектрического преобразователя. В верхней части преобразователя расположен проходной элемент 12 в виде втулки с центральным отверстием для вывода сигнального провода, расположенной соосно корпусу 1, упирающийся в пробку 13 и уплотнительное металлическое кольцо 14.

Корпус имеет гофрированные участки 15 и 16, при этом в одном из вариантов исполнения гофры выполнены путем нарезания винтовых желобков как снаружи, так и внутри корпуса 1. Подобные периферийные канавки (гофры) образуют изгибные участки на корпусе 1 преобразователя, что позволяет гасить шумы, приходящие от напорного трубопровода. Корпус преобразователя должен быть спроектирован так, чтобы собственные частоты не совпадали с рабочей частотой преобразователя.

Волновод 3 (фиг. 1 и 2) является акустическим согласующим звеном между пьезоэлектрическим пакетом и газовой средой. Акустическое сопротивление волновода 3 может быть изменено путем добавления к волноводу ступеней меньшим диаметром (фиг. 2) и может быть оптимизировано для лучшего согласования со средой. Волновод имеет одну или более соосных с волноводом убывающих по диаметру ступеней (ступенчатого концентратора), соответствующих профилю на нижней части корпуса, нижняя донная часть волновода (мембрана) имеет преимущественно плоскую поверхность с диаметром окружности, соответствующим наружному диаметру корпуса преобразователя, на внутренней донной части волновода выполнена заедино центральная часть преимущественно цилиндрической формы с плоской верхней поверхностью, на которую устанавливаются пьезоэлектрические кольца.

Традиционный метод акустического согласования ультразвукового преобразователя осуществляется неметаллическими акустическими слоями на основе эпоксидного материала с металлическими или другими порошковыми примесями, имеющими низкие акустические сопротивления. Недостатком такого метода является невозможность применения вышеуказанного акустического слоя при повышенных температурах и давлениях. Кроме того, при контакте с агрессивной средой происходит износ, эрозия или изменение физических свойств излучающей поверхности преобразователя, что приводит к неправильной работе преобразователя.

На фиг. 3 показаны амплитудно-частотные характеристики заявляемого ультразвукового пьезоэлектрического преобразователя. f_a - антирезонансная частота ультразвукового преобразователя, соответст-

вующая максимальному электрическому сопротивлению и минимальной амплитуде механической деформации в центре мембраны ультразвукового пьезоэлектрического преобразователя, f_r - резонансная частота ультразвукового преобразователя, соответствующая минимальному электрическому сопротивлению и максимальной амплитуде механической деформации в центре мембраны ультразвукового пьезоэлектрического преобразователя, 17 - кривая электромеханического импеданса и 18 - кривая фазы ультразвукового пьезоэлектрического преобразователя. При этом рабочим диапазоном частоты ультразвукового пьезоэлектрического преобразователя является полоса по уровню -3 Дб от электромеханического импеданса в f_r . Приведенная амплитудно-частотная характеристика ультразвукового пьезоэлектрического преобразователя показывает, что в рабочем диапазоне частоты ультразвукового пьезоэлектрического преобразователя паразитные частоты отсутствуют.

На фиг. 4 представлена диаграмма направленности заявляемого ультразвукового пьезоэлектрического преобразователя. Согласно приведенной диаграммы, акустический луч имеет угол раскрытия $\alpha = \pm 7,5^\circ$ по уровню -3 Дб от максимального акустического давления.

На фиг. 5 представлена форма сигнала на принимаемом преобразователе. Приемный сигнал состоит из трех нарастающих периодов и двух убывающих периодов, при этом максимальная амплитуда сигнала наблюдается на третьем периоде. Принимаемый сигнал имеет четкий пик и легко отличается от электро-механических и акустических шумов.

В процессе сборки пьезоэлектрический пакет устанавливается между волноводом 3 и резьбовой втулкой 7 и затягивается между ними с помощью пружины 6 усилием, равным половине блокирующей силы пьезоэлектрического пакета. Блокирующая сила - это сила создаваемая пьезоэлектрическим материалом, зажатым между опорами и при подаче на него электрического напряжения. Данная сборочная единица называется излучателем. Предварительно собранный корпус, соединенный резьбовой вставкой 2 и сварным швом присоединяется к волноводу (излучателю) 3 с помощью сварного шва.

Работает преобразователь следующим образом.

При подаче переменного напряжения на тонкий металлический электрод 5, расположенный между пьезоэлектрическими кольцами 4 с частотой, соответствующей осевой моде колебаний преобразователя, пьезоэлектрические кольца деформируются в направлении оси преобразователя, вызывая колебательное движение волновода 3 и резьбовой втулки 7. Для получения максимального акустического отклика необходимо возбуждать преобразователь ближе к резонансной частоте, которая вызывает аксиальную моду колебаний резьбовой втулки и волновода. При этом преобразователь может иметь нескольких аксиальных собственных частот, и оптимальная возбуждающая частота определяется путем оценки деформации на свободном конце волновода. Акустический сигнал излучается от свободной торцевой поверхности волновода (мембраны). Для получения максимального акустического отклика и для обеспечения стабильности работы преобразователя в широком диапазоне температур и давлений пьезоэлементы предварительно зажаты с помощью пружины. Для волновода рекомендуется использовать сплавы низкой плотности и высокой жесткости, например, титановые сплавы, а для резьбовой втулки лучше всего подходят стальные сплавы.

В ходе разработки, изготовления и испытания экспериментальных образцов заявляемого преобразователя были проведены испытания аналогов и прототипа, приведенных в заявке. Анализ патентной документации и научно-технической информации показал, что изобретение обладает новизной, изобретательским уровнем, а испытания экспериментальных образцов ультразвукового пьезоэлектрического преобразователя показали его промышленную применимость.

Заявляемый ультразвуковой пьезоэлектрический преобразователь устойчив при работе в температурном диапазоне от -196 до +330°C, что затруднительно при использовании таких материалов как пластмасса, эпоксидные материалы, смазки. Кроме того, преобразователь с минимальными габаритами уменьшает неопределенность при построении профиля скорости газа в трубопроводе и повышает точность измерений ультразвукового расходомера.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Ультразвуковой пьезоэлектрический преобразователь, содержащий металлический корпус, по меньшей мере один пьезоэлектрический элемент, волновод, соединенный с нижней частью корпуса, пружину для поджатия пьезоэлектрического элемента, крышку, выводящие провода, отличающийся тем, что пружина имеет верхнюю и нижнюю части, выполненные с внутренней резьбой, и среднюю часть, выполненную по меньшей мере с одним участком в форме сильфона; резьбовые части пружины соединены соответственно с резьбовыми концами волновода и резьбового элемента так, что пьезоэлектрический элемент прижимается к верхней поверхности волновода с помощью пружины и резьбового элемента, при этом величина усилия сжатия пьезоэлектрического элемента задается заворачиванием пружины на резьбовых концах волновода и резьбового элемента.

2. Ультразвуковой пьезоэлектрический преобразователь по п.1, отличающийся тем, что пьезоэлектрический элемент выполнен в виде поляризованного пьезоэлектрического кольца, преимущественно двух или более поляризованных пьезоэлектрических колец, образующих пьезоэлектрический пакет.

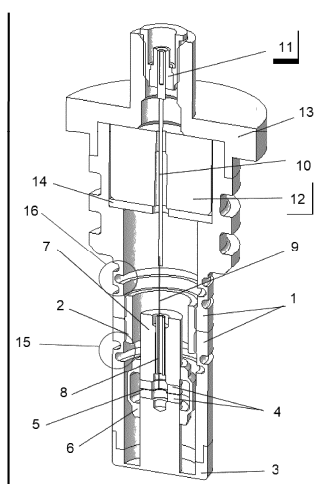
3. Ультразвуковой пьезоэлектрический преобразователь по п.1, отличающийся тем, что корпус выполнен из двух частей, соединенных друг с другом неразъемно и герметично с помощью резьбовой вставки.

4. Ультразвуковой пьезоэлектрический преобразователь по п.1, отличающийся тем, что корпус имеет гофрированные участки, при этом гофры выполнены путем нарезания винтовых желобков как снаружи, так и внутри корпуса.

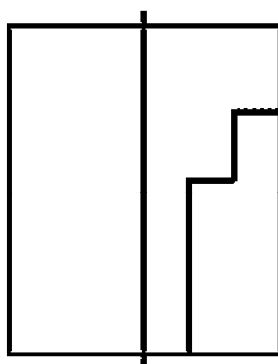
5. Ультразвуковой пьезоэлектрический преобразователь по п.1, отличающийся тем, что волновод имеет одну или более соосных с волноводом убывающих по диаметру ступеней, соответствующих профилю на нижней части корпуса, нижняя донная часть волновода имеет преимущественно плоскую поверхность с диаметром окружности, соответствующим наружному диаметру корпуса преобразователя, на внутренней донной части волновода выполнена заедино центральная часть преимущественно цилиндрической формы с плоской верхней поверхностью, на которую устанавливаются пьезоэлектрические кольца.

6. Ультразвуковой пьезоэлектрический преобразователь по п.1, отличающийся тем, что волновод и пружина выполнены из титана

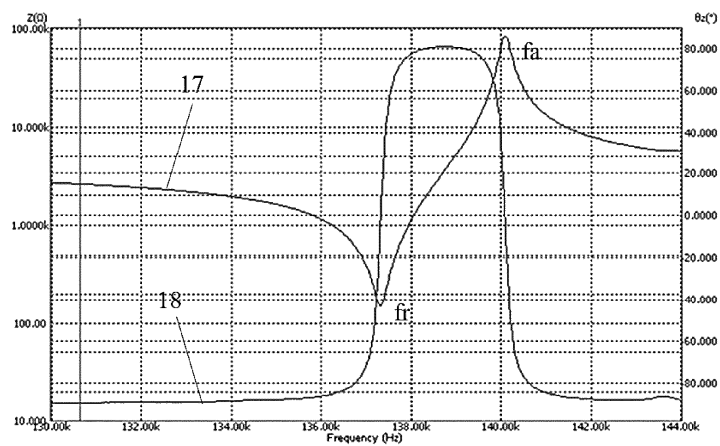
7. Ультразвуковой пьезоэлектрический преобразователь по п.1, отличающийся тем, что опорная резьбовая втулка выполнена из стали.



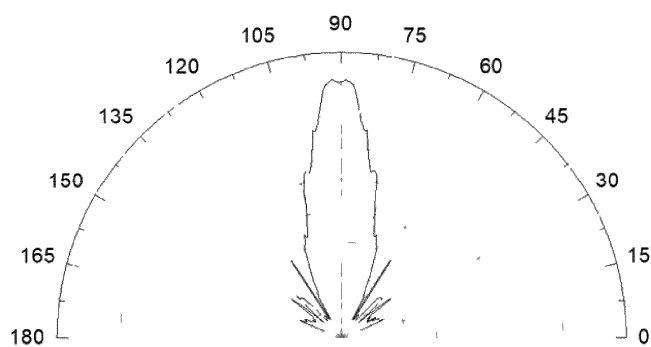
Фиг. 1



Фиг. 2



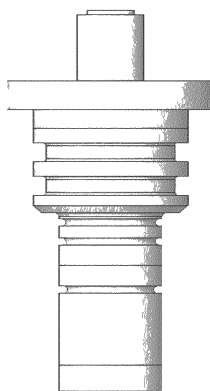
Фиг. 3



Фиг. 4



Фиг. 5



Фиг. 6

040123



Фиг. 7

