



(19) **RU** <sup>(11)</sup> **2 193 172** <sup>(13)</sup> **C2**  
(51) МПК<sup>7</sup> **G 01 L 11/00, 9/08**

РОССИЙСКОЕ АГЕНТСТВО  
ПО ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ

## (12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

(21), (22) Заявка: 99127053/28, 27.12.1999

(24) Дата начала действия патента: 27.12.1999

(43) Дата публикации заявки: 10.10.2001

(46) Дата публикации: 20.11.2002

(56) Ссылки: SU 228992, 08.10.1968. US 4229979 A, 28.10.1980. DE 1773491 B2, 30.08.1979. GB 2002519 A, 21.02.1979.

(98) Адрес для переписки:  
194064, Санкт-Петербург, Тихорецкий пр., 21,  
ГНЦ ЦНИИ РТК

(71) Заявитель:

Государственный научный центр России  
Центральный научно-исследовательский  
институт робототехники и технической  
кибернетики

(72) Изобретатель: Нестеренко Ю.А.

(73) Патентообладатель:

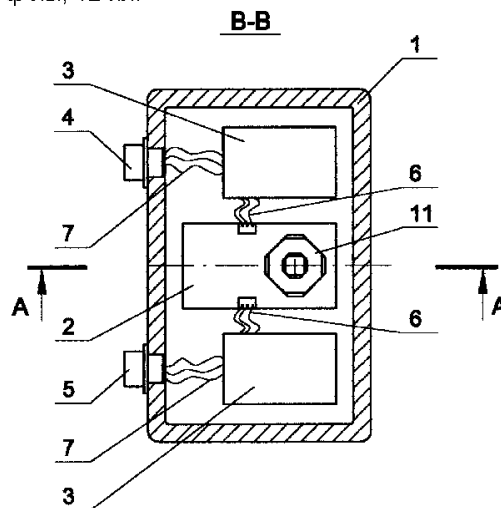
Государственный научный центр России  
Центральный научно-исследовательский  
институт робототехники и технической  
кибернетики

### (54) ДАТЧИК ДАВЛЕНИЯ С ЧАСТОТНЫМ ВЫХОДОМ

(57)

Изобретение относится к области информационно-измерительной техники и может найти применение при измерении давлений и разности давлений жидких и газообразных сред. В датчике давления, содержащем систему самовозбуждения и чувствительный элемент в виде плоской колебательной системы 23, совершающей поперечные колебания и разделяющей внутренний объем чувствительного элемента на две сообщающиеся рабочие камеры 21 и 22, согласно изобретению стенки рабочих камер, противолежащие колебательной системе, выполнены в виде барочувствительных мембран 11, которые могут быть выполнены с жесткими центрами 19 и 20. Внутренний объем чувствительного элемента заполнен инертным газом. Датчик снабжен термокорректирующим датчиком, который выполнен в виде системы самовозбуждения с чувствительным элементом в виде колебательной системы, разделяющей внутренний объем чувствительного элемента на две камеры. Чувствительный элемент может быть выполнен в виде двух колебательных систем, одна из которых образует датчик давления, а

другая - термокорректирующий датчик. Техническим результатом изобретения является возможность измерения давлений в широком диапазоне и вне зависимости от химического состава и плотности сред, достижение точности и надежности. 9 з.п. ф-лы, 12 ил.



Фиг. 1

RU 2 193 172 C2

RU 2 193 172 C2



(19) **RU** <sup>(11)</sup> **2 193 172** <sup>(13)</sup> **C2**  
 (51) Int. Cl.<sup>7</sup> **G 01 L 11/00, 9/08**

RUSSIAN AGENCY  
FOR PATENTS AND TRADEMARKS

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(21), (22) Application: 99127053/28, 27.12.1999  
 (24) Effective date for property rights: 27.12.1999  
 (43) Application published: 10.10.2001  
 (46) Date of publication: 20.11.2002  
 (98) Mail address:  
 194064, Sankt-Peterburg, Tikhoretskij pr.,  
 21, GNTs TsNII RTK

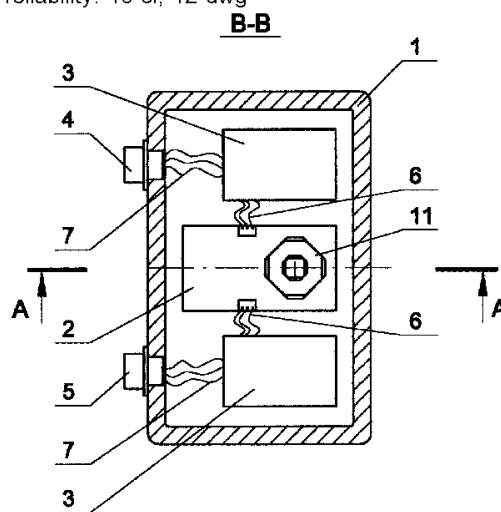
(71) Applicant:  
 Gosudarstvennyj nauchnyj tsentr Rossii  
 Tsentral'nyj nauchno-issledovatel'skij  
 institut robototekhniki i tekhnicheskoy kibernetiki  
 (72) Inventor: Nesterenko Ju.A.  
 (73) Proprietor:  
 Gosudarstvennyj nauchnyj tsentr Rossii  
 Tsentral'nyj nauchno-issledovatel'skij  
 institut robototekhniki i tekhnicheskoy kibernetiki

(54) **PRESSURE SENSOR WITH FREQUENCY OUTPUT**

(57) Abstract:

FIELD: information and measurement technology; measurement of pressures and pressure differentials of liquid and gaseous media. SUBSTANCE: pressure sensor includes self-excitation system and sensitive element in form of oscillatory system 23 performing transversal oscillations and dividing the interior of sensitive element into two communicating working chambers 21 and 22; walls of working chambers which are opposite to oscillatory system are made in form of barometric sensitive diaphragms 11 which may be provided with flexural centers 19 and 20. Interior of sensitive element is filled with inert gas. Sensor is provided with thermocorrecting sensor made in form of self-excited system with sensitive element in form of oscillatory system dividing interior of sensitive element into two chambers. Sensitive element may be made in form of two oscillatory systems: one system forms pressure sensor and other system forms thermocorrecting sensor. EFFECT: possibility

of measuring pressures within wide range irrespective of chemical composition and density of media; enhanced accuracy and reliability. 10 cl, 12 dwg



Фиг. 1

RU 2 193 172 C2

RU 2 193 172 C2

Изобретение относится к области информационно-измерительной техники и может найти применение при измерении давлений и разности давлений жидких и газообразных сред.

Известен частотный датчик давления, содержащий систему самовозбуждения и колебательную систему в виде плоской жесткой пластины, укрепленной с помощью упругих растяжек и расположенной во внутренней полости датчика между электродами с зазором, поперечный размер которого не превышает удвоенной глубины проникновения вязкой волны [1].

К недостаткам такой конструкции следует отнести значительную массу колебательной системы, что обуславливает низкую чувствительность датчика, особенно в области низких измеряемых давлений, а также ограниченные функциональные возможности датчика, которые делают его непригодным для измерений, например, давлений жидких и загрязненных газовых сред.

Известен также датчик давления с частотным выходом, содержащий колебательную систему в виде плоской мембраны, разделяющей внутреннюю полость рабочей камеры на два симметричных объема, сообщающиеся между собой через отверстия по периферии мембраны и с контролируемой средой через капиллярные каналы в корпусе, при этом внутренние поверхности рабочих камер, обращенные к мембране, выполнены в виде частей сферы [2].

Нижняя граница рабочего диапазона датчика определяется отношением жесткости газовой пружины к жесткости мембраны. Снижение жесткости мембраны в датчике достигается уменьшением ее толщины, а также выполнением перфораций в периферийной части. Верхняя граница рабочего диапазона датчика определяется добротностью колебательной системы, которая зависит от величины вязкого трения газа в рабочих объемах. Благодаря выполнению внутренних поверхностей симметричных объемов в виде частей сферы, радиус которых подобен радиусу колеблющейся мембраны в крайних положениях, значительно уменьшается радиальный градиент давления, так как относительные деформации кольцевых элементов газовой пружины оказываются примерно равными, а с уменьшением радиальных градиентов давления уменьшаются радиальные потоки газа и существенно повышается добротность колебательной системы.

Однако известный датчик обладает существенными недостатками, заключающимися в чувствительности датчика к плотности измеряемой среды, и, следовательно, к ее химическому составу и влажности, а также в возможности загрязнения рабочего зазора датчика малыми механическими частицами (пылью), что не позволяет в полной мере реализовать потенциальные возможности достижения высокой точности датчика, обусловленные заложенным в нем принципом преобразования давления в частоту, и резко снижает надежность датчика. Невозможным является и измерение давлений жидких сред,

что резко ограничивает функциональные возможности датчика.

Наиболее близким по технической сущности к предлагаемому изобретению является датчик давления с частотным выходом, содержащий систему самовозбуждения и колебательную систему в виде плоской эластичной мембраны, разделяющей внутренний объем датчика на две симметричные рабочие камеры, сообщающиеся с измеряемой средой посредством двух капилляров, постоянная времени которых на порядок выше полупериода колебаний [3].

Основным недостатком известной конструкции является ее низкая точность и надежность, обусловленная возможностью засорения капилляров и рабочих камер датчика жидкими или механическими примесями в газе, что помимо снижения точности может приводить к потере работоспособности датчика.

К другим недостаткам известной конструкции, которые приводят к низкой точности и надежности, относятся:

а) нелинейные искажения характеристики преобразования давления в частоту при измерении давлений в широком диапазоне, обусловленные возможностью возбуждения на рабочих частотах побочных низкочастотных акустических резонансов в камерах датчика, при этом на побочных частотах возникает радиальное движение газа, что снижает упругость рабочих камер и приводит к возрастанию потерь энергии колебаний, обусловленных вязкостью газа;

б) резкая нелинейность характеристики преобразования давления в частоту при измерении высоких давлений за счет возможного возбуждения высокочастотных механических резонансов в корпусных деталях чувствительного элемента, что обусловлено периодически возникающими механическими напряжениями на контуре крепления мембраны при ее колебаниях;

в) значительная величина температурной погрешности при измерениях даже относительно невысоких давлений из-за температурной зависимости вязкости газа и зависимости от температуры релаксационных потерь энергии колебаний, которые обусловлены термодинамическими процессами, сопровождающими периодические сжатия/разрежения газа в рабочих камерах.

Кроме того, известная конструкция не обеспечивает измерений давлений жидких сред и не пригодна для измерений относительных давлений, что существенно ограничивает функциональные возможности датчика.

Задачей изобретения является создание новой конструкции датчика давления с частотным выходом, обладающего возможностью реализации высокой точности измерений давлений жидких и газообразных сред в широком диапазоне, а также обеспечивающего высокую надежность датчика и расширение его функциональных возможностей.

Поставленная задача решается тем, что в датчике давления с частотным выходом, содержащем систему самовозбуждения и чувствительный элемент в виде плоской колебательной системы, совершающей

поперечные колебания и разделяющей внутренней объем чувствительного элемента на две сообщающиеся рабочие камеры, согласно изобретению стенки рабочих камер, противоположные колебательной системе, выполнены в виде барочувствительных мембран, а внутренний объем чувствительного элемента заполнен инертным газом и герметизирован.

Барочувствительные мембраны могут быть выполнены в виде мембран с жесткими центрами, при этом площадь каждой из них может превышать размеры колебательной системы.

Жесткие центры барочувствительных мембран могут быть жестко соединены между собой выступами, расположенными вне области колебаний колебательной системы, а рабочие камеры могут быть выполнены с различными поперечными размерами.

Возможным является, наряду с выполнением барочувствительной мембраны с площадью, превышающей размеры колебательной системы, выполнение стенки рабочей камеры вне колебательной системы в форме, соответствующей прогибу барочувствительной мембраны в крайнем положении.

Возможным является выполнение одной из противоположных стенок рабочих камер в виде барочувствительной мембраны, тогда как другая рабочая камера выполнена жесткой.

В корпусе датчика давления может быть расположен термостатизирующий датчик, выполненный в виде системы самовозбуждения с чувствительным элементом в виде плоской колебательной системы, совершающей поперечные колебания и разделяющей внутренней объем этого чувствительного элемента на две рабочие камеры, при этом внутренний объем чувствительного элемента заполнен инертным газом и герметизирован.

Чувствительный элемент датчика может быть выполнен в виде двух колебательных систем, одна из которых образует датчик давления, а другая - термостатизирующий датчик.

Рабочие камеры чувствительного элемента могут быть выполнены в виде щелей, поперечный размер которых не превышает удвоенной толщины вязкого слоя трения, а колебательная система может быть выполнена в виде прямоугольной пластинки, закрепленной по узловым линиям изгибных колебаний.

Колебательная система может быть выполнена в виде мембраны, снабженной отверстиями, расположенными по ее периферии.

Такая конструкция датчика за счет выполнения стенок рабочих камер, противоположных колебательной системе, в виде барочувствительных мембран, заполнения инертным газом и герметизации внутреннего объема делает невозможным заполнение рабочих камер датчика измеряемой средой и, следовательно, исключает загрязнение его внутреннего объема, что существенно повышает надежность датчика. При этом обеспечивается возможность измерения давлений не только газообразных, но и жидких сред.

Возможное выполнение барочувствительных мембран с жесткими центрами и площадью, превышающей размеры колебательной системы, позволяет получить высокую чувствительность датчика к измеряемому давлению как за счет увеличения степени сжатия инертного газа во внутреннем объеме чувствительного элемента, так и за счет изменения поперечных размеров рабочих камер, что повышает точность измерений. Одновременно с этим снабжение барочувствительной мембраны жестким центром повышает ее устойчивость при воздействии давлений, увеличивает ее эффективную площадь, а также обеспечивает одинаковое изменение поперечного размера рабочей камеры по площади колебательной системы при деформации мембраны, что приводит к повышению точности датчика. При этом возможный конструктивный выбор собственной упругости барочувствительных мембран позволяет согласовать диапазон измеряемых давлений с диапазоном рабочих частот датчика, в частности, исключить его работу на высоких частотах, на которых могут возбуждаться высокочастотные механические резонансы в корпусных деталях, и тем самым исключить нелинейные искажения характеристики преобразования давления в частоту, что обеспечивает высокую точность датчика в широком диапазоне давлений.

Возможное жесткое соединение между собой жестких центров барочувствительных мембран с помощью выступов, расположенных вне области колебаний колебательной системы, а также выполнение рабочих камер чувствительного элемента с различными поперечными размерами позволяет за счет различных способов подведения измеряемых давлений использовать датчик для измерений абсолютных или относительных (избыточных) давлений, а также для измерений разности давлений, что существенно расширяет функциональные возможности датчика.

Возможное выполнение барочувствительной мембраны с площадью, превышающей размеры колебательной системы, и стенки рабочей камеры вне области колебательной системы с формой, соответствующей прогибу барочувствительной мембраны в крайнем положении, позволяет повысить перегрузочную способность датчика и, следовательно, его надежность.

Возможное выполнение лишь одной из противоположных колебательной системе стенки рабочей камеры в виде барочувствительной мембраны, а другой рабочей камеры жесткой упрощает конструкцию датчика, что повышает его надежность.

Расположение в корпусе датчика давления термостатизирующего датчика, а также его возможное выполнение в виде системы самовозбуждения с чувствительным элементом в виде плоской колебательной системы, совершающей поперечные колебания и разделяющей внутренней объем чувствительного элемента на две рабочие камеры, а также заполнение внутреннего объема термостатизирующего датчика инертным газом и его герметизация,

обеспечивают единство и упрощение конструктивных и технологических решений при изготовлении датчика давления, обеспечивают возможность как температурной коррекции изменений частоты датчика, обусловленных термическими изменениями давления инертного газа во внутреннем объеме чувствительного элемента, так и возможность введения дополнительных температурных поправок, возникающих за счет других сопутствующих факторов. При этом резко снижается как аддитивная температурная погрешность (погрешность нуля), так и мультипликативная составляющая погрешности (погрешность чувствительности), что многократно повышает точность измерений датчика, а в качестве побочного результата возникает возможность измерения температуры, что существенно расширяет функциональные возможности.

Возможное выполнение чувствительного элемента в виде двух колебательных систем, одна из которых образует датчик давления, а другая - термодатчик, обеспечивает упрощение конструкции датчика и его электронной схемы за счет возможного использования одинаковых систем самовозбуждения, что создает условия одинакового теплового состояния чувствительных элементов, повышает надежность датчика и обеспечивает высокую точность температурных поправок, при этом одинаковая физическая природа частотных сигналов датчика давления и термодатчика повышает точность их последующей алгоритмической обработки и тем самым повышает точность измерений.

Возможное выполнение рабочих камер в виде щелей, поперечный размер которых не превышает удвоенной толщины вязкого слоя трения, обеспечивает условия, при которых периодические сжатия/разрежения газа происходят преимущественно в направлении, перпендикулярном плоскости колебательной системы, поскольку движение газа вдоль ее поверхности резко заторможено собственной вязкостью газа и его "прилипанием" к поверхностям, образующим тонкий щелевой зазор. Следствиям этого конструктивного решения являются постоянство массы газа в рабочих камерах за полупериод колебаний и невозможность возбуждения низкочастотных побочных акустических резонансов в рабочих камерах, что исключает нелинейные искажения и повышает точность преобразования давления в частоту в широком диапазоне.

Возможное выполнение колебательной системы в виде прямоугольной пластинки, закрепленной по узловым линиям изгибных колебаний, позволяет резко снизить возможность возбуждения высокочастотных механических резонансов в корпусных деталях чувствительного элемента под действием периодически возникающих механических напряжений на контуре крепления колебательной системы и тем самым повысить точность преобразования давления в частоту в широком диапазоне частот.

Возможное выполнение колебательной системы в виде мембраны, снабженной отверстиями, расположенными по ее периферии, обеспечивает возможность

использования колебательной системы (мембраны) с малой поверхностной плотностью и исключает возможность возникновения разности квазистатических давлений в рабочих камерах датчика, что позволяет, с одной стороны, получить высокую чувствительность датчика и тем самым повысить точность преобразования давления, а с другой, - за счет быстрого выравнивания квазистатических давлений в рабочих камерах, исключить их воздействие на мембрану и тем самым повысить надежность датчика.

Сопоставительный анализ заявляемого датчика и прототипа выявляет наличие отличительных признаков у заявляемого датчика по сравнению с наиболее близким аналогом, что позволяет сделать вывод о соответствии заявляемого решения критерию "новизна".

Наличие отличительных признаков дает возможность получить положительный эффект, выражающийся в возможности реализации широкого диапазона измеряемых давлений, достижения повышенной точности и надежности, измерений давлений вне зависимости от химического состава и плотности измеряемых сред, а также существенного расширения функциональных возможностей датчика.

Поскольку при исследовании объекта изобретения по патентной и научно-технической литературе не выявлено решений, содержащих признаки заявляемого изобретения, отличные от прототипа, следует сделать вывод, что заявляемое изобретение соответствует критерию "существенные отличия".

Использование заявляемого изобретения в информационно-измерительной технике обеспечивает соответствие изобретения критерию "промышленная применимость".

Сущность изобретения поясняется фиг.1 - 10, структурной схемой на фиг.11 и графиком на фиг.12.

На фиг.1 представлен общий вид возможной конструкции датчика давления в разрезе по В-В, а на фиг.2 представлена та же конструкция, но в разрезе по А-А.

Фиг. 3 - 5 поясняют один из возможных вариантов чувствительного элемента датчика, который конструктивно объединен с чувствительным элементом термодатчика. При этом на фиг.3 представлен разрез по С-С чувствительного элемента датчика давления, а на фиг.4 - разрез по D-D чувствительного элемента термодатчика. На фиг.5 показан вырыв по F-F, показывающий возможное расположение колебательных систем датчика давления и термодатчика, а также возможное расположение тонкопленочных пьезопреобразователей, обеспечивающих возбуждение и съем колебаний.

Фиг. 6 и 7 поясняют другой возможный вариант выполнения чувствительного элемента датчика давления, который также конструктивно объединен с чувствительным элементом термодатчика. При этом на фиг.6 представлен дополнительный разрез по L-L чувствительного элемента датчика давления, а на фиг.7 - вырыв по M-M, которые поясняют возможное конструктивное соединение

жестких центров барочувствительных мембран с помощью выступов, которыми снабжены жесткие центры.

На фиг. 8 - 10 показан пример еще одной возможной конструкции чувствительного элемента датчика давления с использованием одной барочувствительной мембраны и колебательной системы в виде тонкой мембраны. При этом на фиг.8 показан разрез по Е-Е чувствительного элемента датчика давления, на фиг.9 - разрез по Р-Р чувствительного элемента термодатчика, а на фиг. 10 - разрез по К-К, показывающий возможное расположение тонкопленочных пьезопреобразователей, обеспечивающих возбуждение и съём колебаний тонкой мембраны.

На фиг.11 представлена структурная схема систем самовозбуждения датчика давления.

На фиг. 12 изображен график, поясняющий изменение давления инертного газа, который заполняет внутренний объем чувствительного элемента, образованный рабочими камерами датчика, под действием измеряемого давления и температуры.

В корпусе 1 (фиг.1 и 2) датчика установлен чувствительный элемент 2, в котором конструктивно объединены чувствительные элементы датчика давления и термодатчика, а также размещены электронные чипы их систем самовозбуждения 3 и выходные разъемы 4 и 5. С помощью микропроводников 6 чувствительные элементы подключены к электронным чипам систем самовозбуждения 3, которые с помощью электрических проводников 7 подсоединены к разъемам 4 и 5, через которые обеспечивается подведение питающих напряжений и съём электрических частотных сигналов, генерируемых системами самовозбуждения 3.

Корпус 1 датчика снабжен крышкой 8, которая жестко подсоединена к корпусу, например, сваркой по контуру 9.

Чувствительный элемент 2 своими плоскими поверхностями герметично соединен с корпусом 1 и крышкой 8, например, с помощью тонких слоев 10 клея холодного отверждения, при этом в области расположения барочувствительных мембран 11 в корпусе 1 и крышке 8 выполнены выборки 12, в которые через герметично подсоединенные входные штуцеры 13 и 14 подаются измеряемые давления.

Практическая реализация конструкции чувствительного элемента 2 возможна с использованием различных материалов и технологий, однако наибольшие перспективы имеет его изготовление на основе кристаллического кремния с использованием планарных и тонкопленочных технологий, а также технологий размерного травления, при этом относительно простыми средствами достигается конструктивное объединение чувствительных элементов датчика давления и термодатчика.

Одна из возможных конструкций чувствительного элемента 2 (фиг.3 - 5) может быть выполнена в виде сенсорного чипа, образованного пластиной-подложкой 15, промежуточной пластиной 16 и закрывающей пластиной 17, которые герметично соединены между собой, например, тонкими

оплавленными пленками 18 из легкоплавкого стекла.

В пластинах 15 и 17 методами размерного травления выполнены барочувствительные мембраны 11, снабженные жесткими центрами 19 и 20, которые являються стенками рабочих камер 21 и 22 и образуют внутренний объем, заполненный инертным газом под некоторым определенным начальным давлением.

Жесткие центры 19 и 20 повышают устойчивость мембран 11 при воздействии давлений и увеличивают их эффективную площадь.

В толще промежуточной пластины 16 методами размерного травления сформированы два резонатора изгибных колебаний, например, в виде тонких прямоугольных пластинок 23. В процессе операций травления по периферии каждой из них сформированы четыре держателя 24, которые расположены попарно в плоскости пластинок 23 на узловых линиях их собственных изгибных колебаний.

Одна из пластинок 23 располагается во внутреннем объеме чувствительного элемента датчика давления (фиг.3), а другая - во внутреннем объеме чувствительного элемента термодатчика (фиг.4).

Пластинка 23 является колебательной системой с распределенными параметрами и имеет множество собственных резонансных частот. Определенное расположение держателей 24 задает форму (моду) резонансных изгибных колебаний пластинки 23 и резко ограничивает возможность возбуждения ее колебаний в других изгибных формах. Например, для обеспечения изгибных резонансных колебаний пластинки 23 в первой моде необходимо, чтобы держатели 24 располагались на расстоянии 0,224 от краев пластинки (в направлении ее длины).

Кроме того, установка пластинки 23 с помощью держателей 24, расположенных на узловых линиях ее изгибных колебаний, практически исключает воздействие механических напряжений, возникающих при колебаниях пластинки 23, на корпусные детали чувствительного элемента (промежуточную пластину 16) и, следовательно, исключает условия для возбуждения высокочастотных механических резонансов в этих деталях.

Внутренний объем чувствительного элемента термодатчика, образованный рабочими камерами 25 и 26 с неизменными геометрическими размерами, также герметичен, заполнен инертным газом под определенным начальным давлением и изолирован от внутреннего объема датчика давления.

Заполнение внутренних объемов чувствительных элементов датчика давления (камер 21 и 22) и термодатчика (камер 25 и 26) инертным газом может производиться, например, при операции соединения деталей 15, 16 и 17 путем оплавления пленок стекла 18 в атмосфере инертного газа.

В качестве инертного газа может быть использован, например, азот или аргон.

Рабочие камеры 21 и 22 датчика давления и рабочие камеры 25 и 26

термокорректирующего датчика выполняются в виде щелей, поперечный размер которых (в направлении, перпендикулярном плоскости пластинки 23) не превышает удвоенной глубины вязкого слоя трения и выбирается из соотношения

$$h < 2 \cdot \sqrt{\frac{\mu}{\pi \cdot f \cdot \rho}}, \quad (1)$$

где  $h$  - поперечный размер щели;  $\mu$  - динамический коэффициент вязкости инертного газа;  $\rho$  - плотность инертного газа;  $f$  - рабочая частота датчика.

Ограничение поперечного размера рабочих камер в пределах удвоенной глубины вязкого слоя трения обеспечивает условия, при которых периодические сжатия/разрежения газа в процессе колебаний колебательной системы происходят преимущественно в направлении, перпендикулярном ее плоскости (исключая незначительную периферийную область по контуру пластинки), поскольку движение газа вдоль поверхности колебательной системы резко заторможено вязкостью газа и его "прилипанием" к поверхностям, образующим тонкие щелевые зазоры, что препятствует вытеканию газа в периферийную часть щелей. По этой причине отсутствуют условия для возбуждения низкочастотных побочных акустических резонансов в рабочих камерах датчика, а масса газа, заключенная в щелевых объемах, за время, порядка полупериода колебаний, не может существенно измениться и остается постоянной. При этих условиях энергетические потери на сжатие газа при колебаниях колебательной системы становятся минимальными, а сжатия/разрежения газа носят характер, близкий к изотермическому.

Каждая барочувствительная мембрана 11 имеет площадь, которая превышает размеры (площадь) колебательной системы (пластинки 23 с держателями 24), при этом вне области колебательной системы форма стенок рабочих камер 19 и 20 может соответствовать максимально возможному прогибу барочувствительной мембраны. Такое соответствие, исходя из технологий размерного травления, может быть достигнуто за счет выполнения стенок рабочих камер в форме ступенек 27, причем высота расположения кромок ступенек 27 соответствует максимальному прогибу мембраны 11 в точках, противоположащих этим кромкам. При этом кромки ступенек 27 образуют контуры, повторяющие противоположащие контуры на мембране 11 в ее крайнем положении. Очевидно, что чем больше ступенек будет выполнено на стенке, противоположащей мембране 11, тем меньше будет высота каждой из них и тем больше будет соответствие формы стенки максимальному прогибу мембраны 11.

Кромки ступенек 27 ограничивают перемещение мембран 11 с жесткими центрами 19 и 20 после достижения крайнего положения, что обеспечивает защиту чувствительного элемента датчика от перегрузки измеряемым давлением. Одновременно ступеньки 27 ограничивают перемещение жестких центров 19 и 20, оставляя после достижения максимального прогиба мембран 11 минимально допустимые

поперечные размеры щелей 21 и 22, что не позволяет жестким центрам оказывать механическое воздействие на колебательную систему и препятствовать ее колебаниям.

Другой возможный вариант выполнения чувствительного элемента датчика давления представлен на фиг.6 и 7. Во многих деталях этот вариант конструкции повторяет описанный выше, включая конструкцию чувствительного элемента

термокорректирующего датчика.

Принципиальное отличие заключается в том, что жесткие центры 19 и 20 барочувствительных мембран 11 снабжены выступами 28 и 29, расположенными вне области колебаний пластинок 23 в окнах 30, выполненных травлением в пластине 16. Выступы 28 и 29 жестко соединены между собой оплавленными пленками 31 из легкоплавкого стекла. Такое соединение может производиться одновременно с соединением деталей 15, 16 и 17 сенсорного чипа.

Другим конструктивным отличием конструкции датчика на фиг. 6 от датчика на фиг.3 является различная величина поперечных размеров рабочих камер 21 и 22, которые отличаются друг от друга в 2 - 5 раз, но каждый выполнен в пределах удвоенной глубины вязкого слоя трения.

Кромки ступенек 27, так же как и в конструкции на фиг.3, ограничивают перемещение мембран 11 с жесткими центрами 19 и 20 после достижения ими крайнего положения.

Примером еще одной возможной реализации чувствительного элемента датчика давления может служить конструкция, представленная на фиг.8 - 10, в которой лишь одна из противоположащих колебательной системе стенок рабочей камеры 33 образована с помощью барочувствительной мембраны 11с жестким центром 20, а рабочая камера 32 выполнена жесткой с помощью корпусной детали 17. В качестве примера колебательной системы другого типа в этой конструкции использована тонкая мембрана 34, выполненная методами травления в толще промежуточной пластины 16. В периферийной части мембрана 34 снабжена несколькими отверстиями 35, которые служат для выравнивания квазистатических давлений инертного газа в рабочих камерах 32 и 33 при изменении давления в камере 33 за счет деформации мембраны 11.

Поперечные размеры камер 32 и 33, так же как и в конструкциях, описанных выше, выполнены в пределах удвоенной глубины вязкого слоя трения, а кромки ступенек 27 ограничивают перемещение мембраны 11 с жестким центром 20 после достижения крайнего положения.

Очевидно, что использование лишь одной барочувствительной мембраны 11 с жестким центром 20 позволяет исключить одну из камер 12 и соответствующий ей штуцер 13 (фиг. 2), что упрощает как чувствительный элемент, так и конструкцию датчика в целом.

Чувствительный элемент термокорректирующего датчика (фиг.9) аналогичен чувствительному элементу давления (фиг.8), но имеет неизменяемые геометрические размеры рабочих камер 36 и 37.

Для возбуждения и съема изгибных

колебаний колебательных систем (пластинок 23 или мембран 34) во всех описанных примерах конструкций датчиков могут быть использованы тонкопленочных пьезопреобразователи 38, например, из окиси цинка.

Расположение пьезопреобразователей 38 на плоскости колебательной системы, их размеры и количество определяются формой колебательной системы и приемлемым по условиям работы коэффициентом передачи чувствительного элемента. Выполнение пьезопреобразователей 38 в виде небольших прямоугольных секций, ориентированных по направлению распространения изгибной волны, может быть обусловлено необходимостью снижения механических напряжений и деформаций, которые могут возникнуть в резонаторе изгибных колебаний (пластинке 23 или в мембране 34) в процессе изготовления, в частности, за счет охлаждения деталей после высокотемпературного вакуумного напыления пьезопленки.

На поверхности каждой из прямоугольных секций пьезопреобразователей 38 методами вакуумного напыления и травления нанесены тонкопленочные электроды 39, соединенные тонкопленочными микропроводниками 40, которые заканчиваются контактными площадками 41. Для исключения электрического замыкания микропроводников 40 с кремнием поверхность промежуточной пластины 16 перед нанесением микропроводников 40 может быть подвергнута, например, термическому окислению для создания изолирующей пленки.

Параллельно соединенные микропроводниками 40 электроды 39 пьезопреобразователей 38 образуют две группы, одна из которых служит для возбуждения, а другая - для съема изгибных колебаний колебательной системы.

Контактные площадки 42 служат для подсоединения общего ("заземляющего") проводника, для чего изолирующая пленка под площадками 42 перед их нанесением удаляется, и они имеют электрический контакт с толщей пластины 16, которая при этом служит вторым (общим) электродом для обеих групп пьезопреобразователей 38.

К контактными площадкам 41 и 42 подсоединяются микропроводники 6, с помощью которых электронные чипы систем самовозбуждения 3 соединяются с чувствительными элементами датчика давления и термодатчиков датчика.

Для обеспечения доступа к контактными площадкам 41 и 42 в детали 17 методами травления выполнены пазы 43.

Системы самовозбуждения 3 датчика давления и термодатчиков датчика одинаковы (фиг.11) и каждая из них содержит условно широкополосный усилитель 44, имеющий высокое входное сопротивление и снабженный схемой автоматической регулировки усиления 45, обеспечивающей поддержание постоянной амплитуды выходного частотного сигнала усилителя 44. Каждый чувствительный элемент включается в цепь положительной обратной связи соответствующего усилителя 44, который тем самым превращается в автогенератор незатухающих колебаний.

Работа датчика происходит следующим образом.

При подаче питающих напряжений происходит самовозбуждение датчика давления и термодатчиков датчика на собственных резонансных частотах их чувствительных элементов. На выходах усилителей 44 возникают частотные выходные сигналы, которые поступают на входы схем 45 автоматической регулировки усиления, с помощью которых формируются управляющие сигналы, воздействующие на усилители 44 и регулирующие их коэффициенты усиления в соответствии с условиями самовозбуждения автогенератора. За счет работы схем 45 автоматической регулировки усиления исключаются нелинейные ограничения амплитуд выходных частотных сигналов, а усилители 44 работают в пределах своих динамических диапазонов.

Частоты выходных сигналов датчика давления  $f_p$  и термодатчиков датчика  $f_T$  определяются следующими выражениями:

$$f_p = \sqrt{f_0^2 + \frac{1}{4\pi^2} \cdot \frac{\gamma P_d}{\sigma} \cdot \left( \frac{1}{d_1} + \frac{1}{d_2} \right)}; \quad (2)$$

$$f_T = \sqrt{f_0^2 + \frac{1}{4\pi^2} \cdot \frac{\gamma P_T}{\sigma} \cdot \frac{z}{d_{экв}}}, \quad (3)$$

где  $f_0$  - собственная резонансная частота колебательной системы в вакууме (условно принято, что в силу одинаковых конструкций колебательных систем датчика давления и термодатчиков датчика их собственные частоты в вакууме одинаковы);

$\gamma$  - показатель адиабаты (отношение газовых теплоемкостей инертного газа), величина которого при поперечных размерах рабочих камер, не превышающих удвоенной толщины вязкого слоя трения, близка к единице;

$P_d$  - давление инертного газа во внутреннем объеме чувствительного элемента датчика давления;

$P_T$  - давление инертного газа во внутреннем объеме чувствительного элемента термодатчиков датчика;

$\sigma$  - поверхностная плотность колебательной системы;

$d_{экв}$  - эквивалентный поперечный размер рабочих камер, который определяется как среднее геометрическое из их поперечных размеров  $d_1$  и  $d_2$

$$d_{экв} = \frac{d_1 \cdot d_2}{d_1 + d_2}. \quad (4)$$

Давление  $P_T$  инертного газа во внутреннем объеме чувствительного элемента термодатчиков датчика определяется уравнением состояния газа в замкнутом объеме (например, уравнением Менделеева-Клапейрона) и является однозначной функцией абсолютной температуры. Поэтому, полагая, что при изготовлении датчик был заполнен инертным газом под начальным давлением  $P_0$  при температуре  $T_0$ , и используя (3), упрощенно можно записать



$$P_T = P_0 \cdot \frac{T}{T_0} \text{ и } f_T = \sqrt{f_0^2 + k_T \cdot T}, \quad (5)$$

где  $T$  - абсолютная температура;  $k_T$  - коэффициент чувствительности, величина которого тем больше, чем выше начальное давление инертного газа в полости чувствительного элемента термодинамического датчика.

При изменении температуры происходит изменение давления инертного газа во внутреннем объеме и соответствующее изменение частоты  $f_T$  термодинамического датчика, который при этом является измерителем абсолютной (термодинамической) температуры.

Изменение частоты  $f_p$  зависит от конструктивного исполнения деформируемой коробки, а также от способа подачи измеряемой величины.

Конструкция с двумя барочувствительными мембранами (фиг.3 - 5) предназначена для измерения абсолютного давления, которое подается одновременно на оба приемных штуцера 13 и 14 (фиг.2).

При отсутствии измеряемого давления  $P_x$  барочувствительные мембраны 11 с жесткими центрами 19 и 20 испытывают упругую деформацию под действием давления  $P_d$  инертного газа, что обуславливает наибольшую возможную величину внутреннего объема чувствительного элемента и соответственно минимальную величину давления инертного газа.

При подаче измеряемого давления внутренний объем чувствительного элемента уменьшается, а давление инертного газа возрастает, при этом величины деформаций барочувствительных мембран 11, определяемые по смещению их жестких центров 19 и 20, зависят от разности давлений  $P_x$  и  $P_d$

$$\lambda = \frac{P_x - P_d}{W_p}, \quad (6)$$

где  $W_p$  - собственная жесткость барочувствительной мембраны 11 по давлению, а  $\lambda$  - ее деформация (смещение жесткого центра).

При равенстве давлений  $P_x$  и  $P_d$  барочувствительные мембраны 11 находятся в исходном (недеформированном) состоянии, а давление инертного газа равно начальному значению  $P_0$ .

Одновременно с изменением давления инертного газа деформация барочувствительных мембран 11 с жесткими центрами 19 и 20 приводит к соответствующему изменению поперечных размеров  $d_1$  и  $d_2$  рабочих камер 21 и 22. Предполагая, что при  $P_x = P_0$  поперечные размеры щелевых камер равны ( $d_1 = d_2 = d_0$ ), а собственные жесткости барочувствительных мембран одинаковы, такое изменение можно представить в виде

$$d_1 = d_2 = d_0 \cdot \lambda \quad (7)$$

Давление  $P_d$  инертного газа во внутреннем объеме чувствительного элемента зависит от измеряемого давления  $P_x$  и упругой реакции барочувствительных мембран 11 с жесткими

центрами 19 и 20:

$$P_d = P_x - W_p \cdot \lambda, \quad (8)$$

при этом, если  $P_x = P_d$ , то  $\lambda = 0$ , а  $P_d = P_0$ , т.е. давление инертного газа равно начальному давлению  $P_0$ , которое было создано при изготовлении датчика. Очевидно при этом, что давление  $P_d$  инертного газа зависит от температуры.

Уравнение (8) иллюстрируется графиком на фиг.11, на котором в условном масштабе представлено изменение давления инертного газа  $P_d$  в зависимости от измеряемого давления  $P_x$  при трех значениях температуры.

Прямая В условно соответствует реальной характеристике изменения давления  $P_d$  в зависимости от  $P_x$  при номинальной (средней) температуре в условном температурном диапазоне, в котором может эксплуатироваться датчик, тогда как пунктирные прямые  $B_v$  и  $B_n$  соответствуют условно максимальной (верхней) и минимальной (нижней) эксплуатационным температурам. Штрихпунктирная прямая А характеризует равенство  $P_d = P_x$  и служит ориентиром при чтении графика.

Возрастание давления инертного газа под действием измеряемого давления может происходить до тех пор, пока барочувствительные мембраны 11 и их жесткие центры 19 и 20 не упрутся в ступеньки 27, которые ограничивают перемещение мембран 11 и их жестких центров 19 и 20 после достижения крайнего положения, что соответствует "перелому" прямой В в точке D. Дальнейшее увеличение давления  $P_d$  при  $P_x \geq P_{x_{max}}$  становится невозможным.

Учитывая оба фактора, а именно изменение давления инертного газа и изменение поперечных размеров рабочих камер, а также принимая, что  $\gamma = 1$ , характеристику преобразования (2) измеряемого давления в частоту можно представить в виде

$$f_p = \sqrt{f_0^2 + \frac{1}{4\pi^2} \cdot \frac{P_d}{\sigma} \cdot \frac{2}{d_0} \cdot \lambda}, \quad (9)$$

где  $P_d$  и  $\lambda$  определяются соответственно (8) и (6).

Из (9) следует, что увеличение измеряемого давления приводит к возрастанию частоты датчика как за счет увеличения давления инертного газа, так и за счет уменьшения поперечных размеров рабочих камер чувствительного элемента.

Работа датчика в условиях изменяющейся температуры приводит к изменению начального давления  $P_0$  во внутреннем объеме чувствительного элемента датчика давления, что обуславливает соответствующую температурную зависимость (погрешность) характеристики преобразования (9). Эта погрешность носит аддитивный характер и условно может быть разделена на две составляющие, одна из которых обусловлена изменением давления инертного газа, а другая - изменением деформаций барочувствительных мембран, которая в соответствии с (6) зависит от разности давлений. Аддитивный характер указанной погрешности находит свое отражение и в величине максимального

давления инертного газа во внутреннем объеме чувствительного элемента (точки  $D_n$  и  $D_b$  на фиг.11).

Поскольку температурная погрешность носит закономерный характер, то одновременное измерение частот датчика давления и термокорректирующего датчика позволяет учесть (скорректировать) эту погрешность в процедурах измерительного алгоритма и получить результат измерения, точность которого зависит от точности алгоритмического введения соответствующей температурной поправки.

Эксплуатационная величина максимального измеряемого давления  $P_{max}$  может быть задана в точке  $D_n$  (фиг.11), соответствующей конструктивному ограничению деформаций барочувствительных мембран при минимальной температуре эксплуатации датчика. При этом требуемое значение  $P_{max}$  зависит от назначения датчика и условий его эксплуатации и может быть обеспечено соответствующей конструкцией и упругими свойствами барочувствительных мембран, а также выбором начального давления инертного газа во внутреннем объеме чувствительного элемента датчика давления.

Работа датчика с чувствительным элементом, внутренний объем которого деформируется под действием лишь одной барочувствительной мембраны 11 с жестким центром 20 (фиг.8 - 10), происходит аналогичным образом. Основное отличие заключается в условно меньшей чувствительности ("крутизне") характеристики преобразования давления в частоту, что обусловлено меньшей величиной сжимаемости инертного газа под действием деформации лишь одной барочувствительной мембраны 11, а также изменением при этой деформации поперечного размера лишь одной из рабочих камер 33

$$f_p = \sqrt{f_0^2 + \frac{1}{4\pi^2} \cdot \frac{P_d}{\sigma} \cdot \left( \frac{1}{d_{01} + \lambda} + \frac{1}{d_{02} - \lambda} \right)}, \quad (10)$$

где  $P_d$  и  $\lambda$  определяются соответственно (8) и (6);  $d_{01}$  - поперечный размер рабочей камеры 32 (фиг.8) с неизменными геометрическими размерами;  $d_{02}$  - поперечный размер камеры 33, который изменяется под действием деформации барочувствительной мембраны 11 (смещения жесткого центра 20).

При изменении измеряемого давления и соответствующей деформации объема рабочей камеры 33 через отверстия 35, расположенные по периферии мембраны 34, происходит выравнивание квазистатического давления инертного газа в рабочих камерах 32 и 33, что исключает возможность нежелательной деформации мембраны 34.

Работа термокорректирующего датчика (фиг.9) соответствует описанной выше, а изменение его рабочей частоты описывается (5).

Условно более низкая чувствительность конструкции датчика с одной барочувствительной мембраной в значительной степени компенсируется за счет использования колебательной системы в

виде тонкой мембраны 34 с малой поверхностной плотностью. Кроме того, как следует из (10), чувствительность датчика может быть повышена за счет различных поперечных размеров щелевых камер. В частности, за счет некоторого увеличения поперечного размера  $d_{01}$  по сравнению с  $d_{02}$  чувствительность датчика может быть повышена в несколько раз, так как в этом случае изменение меньшего из поперечных размеров оказывает преимущественное влияние на частоту датчика.

Работа конструкции датчика с чувствительным элементом, в котором внутренний объем образован двумя барочувствительными мембранами, жесткие центры которых жестко соединены между собой (фиг.6 и 7), имеет некоторое отличие от работы конструкций, описанных выше. Одно из отличий обусловлено неизменной величиной суммарного объема рабочих камер при деформации барочувствительных мембран, поскольку деформация внутреннего объема происходит при одновременной и одинаковой величине их смещения из начального положения. При этом уменьшение объема одной из рабочих камер приводит к такому же увеличению объема другой рабочей камеры, и наоборот.

Следствием этого является независимость давления инертного газа от величины измеряемых давлений и зависимость этого давления лишь от температуры. Кроме того, поперечные размеры щелевых рабочих камер 21 и 22 взаимосвязаны.

Характеристика преобразования может быть представлена в виде

$$f_p = \sqrt{f_0^2 + \frac{1}{4\pi^2} \cdot \frac{P_d}{\sigma} \cdot \left( \frac{1}{d_{01} + \lambda} + \frac{1}{d_{02} - \lambda} \right)} \quad (11)$$

где  $P_0$  - начальное давление инертного газа в рабочих камерах датчика;  $d_{01}$  и  $d_{02}$  - поперечные размеры камер 21 и 22 при отсутствии измеряемых давлений.

Величина смещения  $\lambda$  жестких центров 19 и 20 при деформации барочувствительных мембран 11 определяется разностью измеряемых давлений  $P_1$  и  $P_2$  которые могут подаваться независимым образом на приемные штуцера 13 и 14 (фиг. 2)

$$\lambda = \frac{P_1 - P_2}{2w_p}, \quad (12)$$

где  $w_p$  - собственная жесткость по давлению одной барочувствительной мембраны.

Функциональные возможности датчика с чувствительным элементом с жестким соединением жестких центров барочувствительных мембран определяются способом подачи измеряемых давлений.

Если на один из штуцеров, например, на штуцер 13 подается вакуум, а на другой (штуцер 14) измеряемое давление, то датчик работает как измеритель абсолютного давления.

При подаче на штуцер 13 атмосферного давления, а измеряемого - на штуцер 14, датчик становится измерителем относительного (избыточного) давления.

При подаче на штуцеры 13 и 14 различных измеряемых давлений датчик измеряет

разность этих давлений.

Как следует из (11) и (12), частота датчика определяется соотношением поперечных размеров щелевых рабочих камер, при этом подкоренное выражение в (11) носит характер гиперболы вне зависимости от направления смещения жестких центров барочувствительных мембран, что позволяет получить как возрастающий, так и убывающий характер частоты датчика при, например, возрастании измеряемого давления. Характер изменения выходной частоты датчика определяется выбранным соотношением поперечных размеров  $d_{01}$  и  $d_{02}$  камер 21 и 22 при отсутствии измеряемых давлений и способом их подачи при проведении измерений.

Высокая чувствительность датчика достигается за счет выполнения рабочих камер с различными поперечными размерами  $d_{01}$  и  $d_{02}$  так, что один из них в 2 - 5 раз меньше, чем другой, при этом изменение частоты датчика происходит преимущественно за счет изменения меньшего из поперечных размеров. Начальное значение частоты датчика (при  $P_1=P_2$ ) соответствует точке на резко восходящем участке гиперболической зависимости, характеризующей изменение подкоренного выражения в (11) под действием разности измеряемых давлений.

Высокая чувствительность датчика как по всему рабочему диапазону, так и в области малых разностей измеряемых давлений, а также возможность использования датчика для измерений различных по характеру давлений резко расширяет его функциональные возможности. В частности, датчик может использоваться для измерения расхода какого-либо вещества по разности давлений, возникающей на измерительной диафрагме, установленной в трубопроводе для транспортировки этого вещества.

Коррекция температурной зависимости частоты датчика, обусловленной изменением под действием температуры начального давления инертного газа, может производиться путем одновременного измерения частот датчика давления и термодатчика и введения соответствующих поправок в процедурах измерительного алгоритма, что обеспечивает получение результатов измерений, точность которых зависит от точности алгоритмического введения температурных поправок.

Многообразие различных побочных факторов, проявляющихся в большей или в меньшей степени в зависимости от условий эксплуатации и назначения датчика и сопровождающих преобразование давления (или разности давлений) в частоту, включая, в частности, такие как различие температурных коэффициентов линейного расширения и модулей упругости материалов, которые используются для изготовления датчика, приводят к тому, что частотное преобразование наряду с аддитивной температурной погрешностью характеризуется некоторой мультипликативной погрешностью, изменяющейся по диапазону измеряемых давлений. Величина этой дополнительной мультипликативной погрешности зависит от диапазона измеряемых давлений, диапазона

рабочих частот, конструктивных размеров деталей датчика и других факторов. При этом мультипликативная погрешность помимо возможной систематической составляющей практически всегда имеет составляющую, зависящую от температуры. Поэтому высокая точность измерений может быть достигнута только при использовании специальных алгоритмов температурной коррекции выходной частоты датчика давления.

С этой целью целесообразно использование интеллектуальных алгоритмов, позволяющих многократно повысить точность измерений.

В процессе совместной алгоритмической обработки выходных частот датчика давления и термодатчика могут быть реализованы функции линеаризации, масштабирования, вычитания начальных (ненулевых) значений частот датчиков, вычисления аддитивных и мультипликативных температурных поправок и их автоматический учет в процедурах интеллектуального алгоритма для компенсации погрешностей, сопровождающих измерения. Практическая реализация интеллектуального алгоритма возможна, например, с помощью программируемого контроллера, в информационно-вычислительном управляющем комплексе или с помощью микропроцессора, которым может быть снабжен датчик давления.

Примером совместной алгоритмической обработки частотных сигналов, обеспечивающей получение результатов измерений в единицах давления, может служить алгоритм, основанный на использовании, например, полиномов 3 - 5-той степени:

$$P_X = a_0 + a_1 \cdot f_p + a_2 \cdot f_p^2 + a_3 \cdot f_p^3 + a_4 \cdot f_p^4 + a_5 \cdot f_p^5,$$

$$a_i = b_{i0} + b_{i1} \cdot f_T + b_{i2} \cdot f_T^2 + b_{i3} \cdot f_T^3,$$

где  $f_p$  - частота датчика давления;  $f_T$  - частота термодатчика;  $a_i$  ( $i=0, 1, 2, \dots, 5$ ) и  $b_{ij}$  ( $j=0, 1, 2, 3$ ) - коэффициенты полиномов.

Определение текущих значений коэффициентов полинома, которые могут линейным или нелинейным образом зависеть от температуры (частоты  $f_T$ ), может производиться автоматически с помощью интеллектуального алгоритма, использующего данные, которые могут быть записаны в постоянное запоминающее устройство (ПЗУ) микропроцессора при аттестации датчика давления.

#### ИСТОЧНИКИ ИНФОРМАЦИИ

1. Авторское свидетельство 667840, G 01 L 11/00, опубл. 15.06.79.
2. Авторское свидетельство 1000805, G 01 L 11/00, опубл. 28.02.83.
3. Авторское свидетельство 228992, МПК G 01 I, G 08 с, опубл. 07.11.69.

#### Формула изобретения:

1. Датчик давления с частотным выходом, содержащий систему самовозбуждения и чувствительный элемент в виде плоской колебательной системы, совершающей поперечные колебания и разделяющей внутренний объем чувствительного элемента на две сообщающиеся рабочие камеры, отличающийся тем, что стенки рабочих камер, противолежащие колебательной системе, выполнены в виде барочувствительных

мембран, а внутренний объем чувствительного элемента заполнен инертным газом и герметизирован.

2. Датчик давления с частотным выходом по п. 1, отличающийся тем, что барочувствительные мембраны выполнены в виде мембран с жесткими центрами, при этом площадь каждой из них превышает размеры колебательной системы.

3. Датчик давления с частотным выходом по п. 2, отличающийся тем, что жесткие центры барочувствительных мембран жестко соединены между собой выступами, расположенными вне колебательной системы, а рабочие камеры выполнены с различными поперечными размерами.

4. Датчик давления с частотным выходом по п. 2, отличающийся тем, что стенка рабочей камеры вне колебательной системы имеет форму, соответствующую прогибу барочувствительной мембраны в крайнем положении.

5. Датчик давления с частотным выходом по п. 1, отличающийся тем, что противоположная колебательной системе стенка одной из рабочих камер образована барочувствительной мембраной, а другая рабочая камера выполнена жесткой.

6. Датчик давления с частотным выходом по п. 1, отличающийся тем, что в корпусе датчика давления расположен

термокорректирующий датчик, который содержит систему самовозбуждения с чувствительным элементом в виде плоской колебательной системы, совершающей поперечные колебания и разделяющей внутренний объем чувствительного элемента на две рабочие камеры, при этом внутренний объем чувствительного элемента заполнен инертным газом и герметизирован.

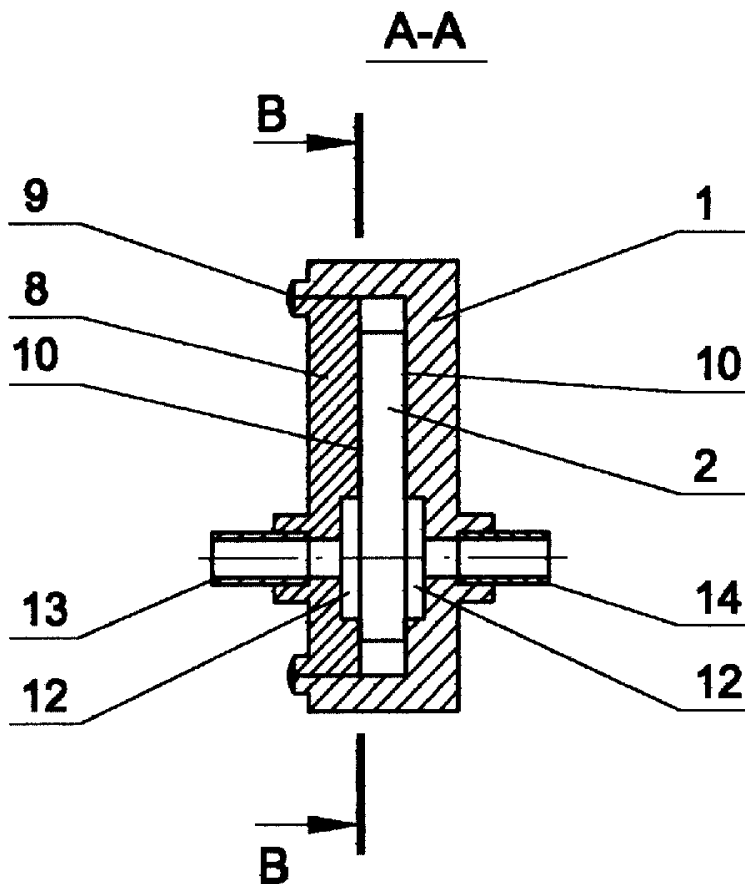
7. Датчик давления с частотным выходом по п. 6, отличающийся тем, что чувствительный элемент выполнен в виде двух колебательных систем, одна из которых образует датчик давления, а другая - термокорректирующий датчик.

8. Датчик давления с частотным выходом по п. 1, отличающийся тем, что рабочие камеры выполнены в виде щелей, поперечный размер которых не превышает удвоенной толщины вязкого слоя трения.

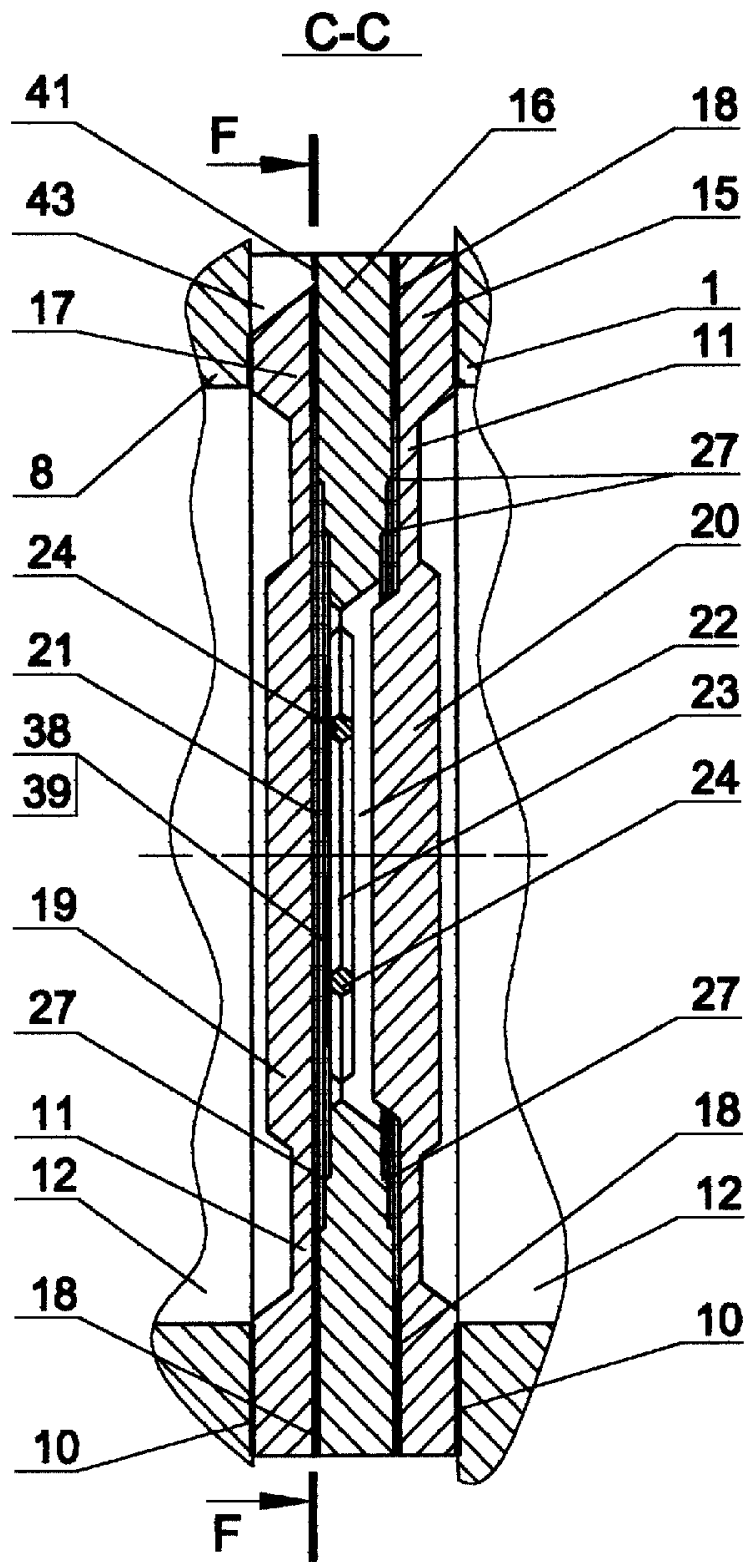
9. Датчик давления с частотным выходом по п. 8, отличающийся тем, что колебательная система выполнена в виде прямоугольной пластинки, закрепленной по узловым линиям изгибных колебаний.

10. Датчик давления с частотным выходом по п. 8, отличающийся тем, что колебательная система выполнена в виде мембраны, снабженной отверстиями, расположенными по ее периферии.

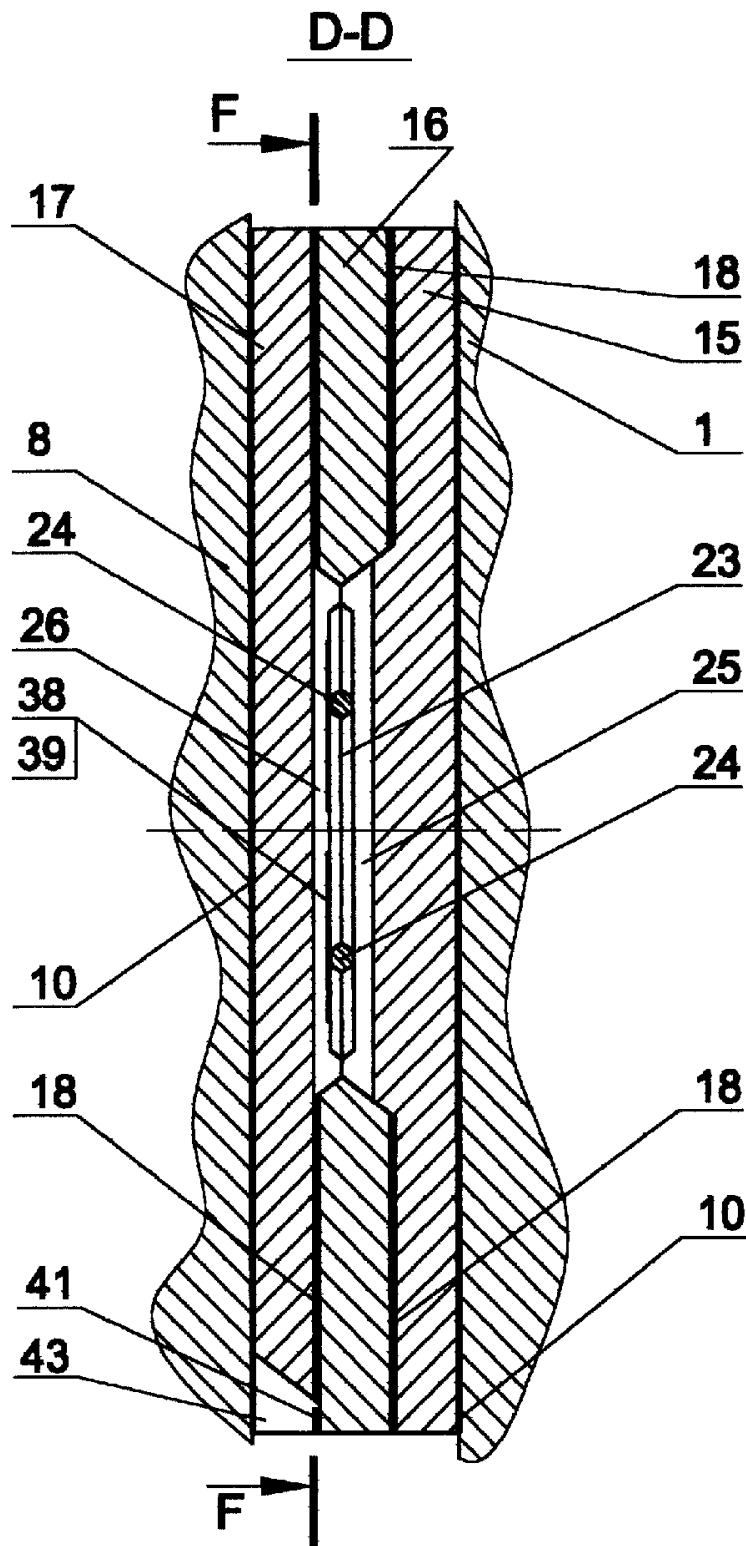
5  
10  
15  
20  
25  
30  
35  
40  
45  
50  
55  
60



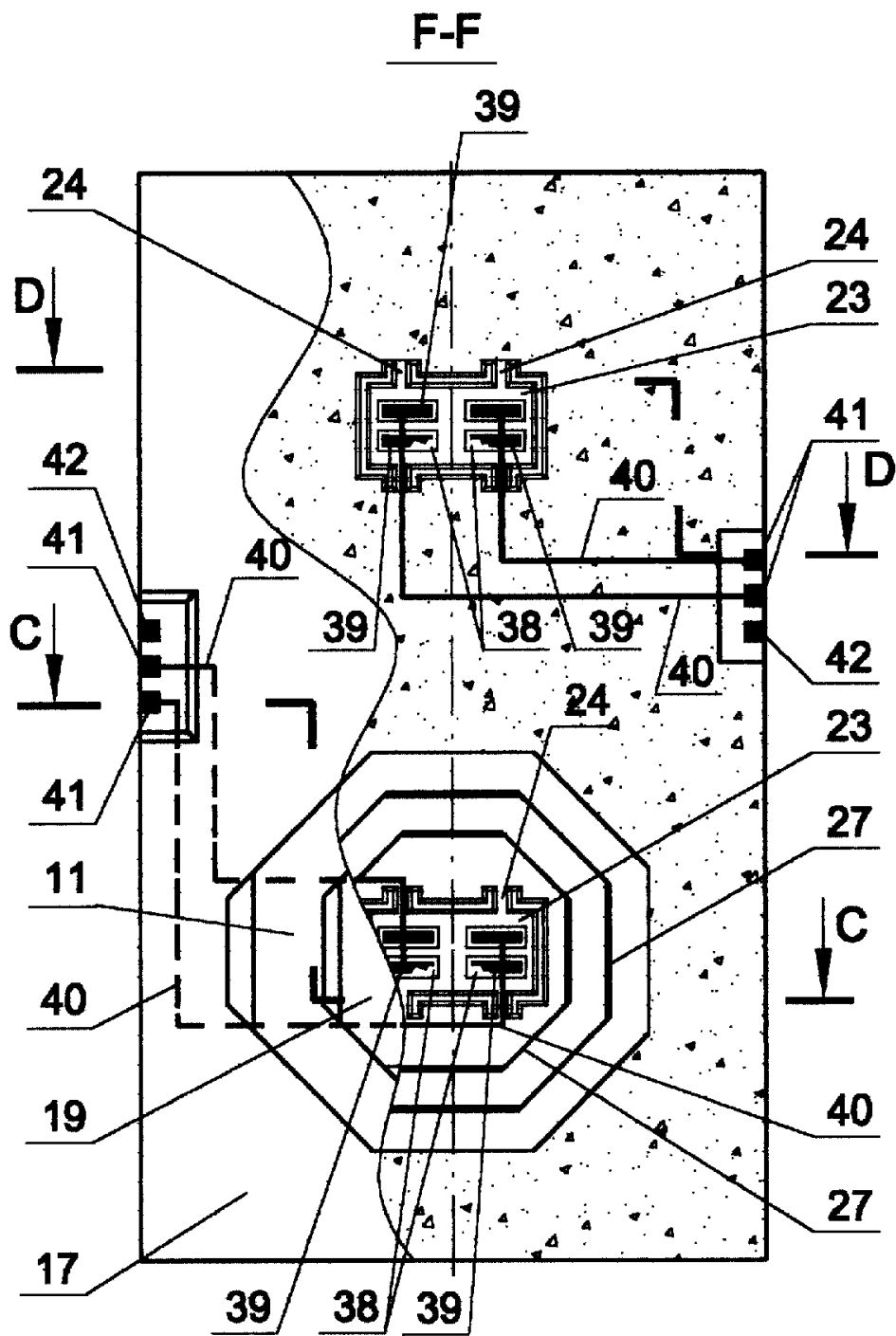
Фиг. 2



Фиг. 3

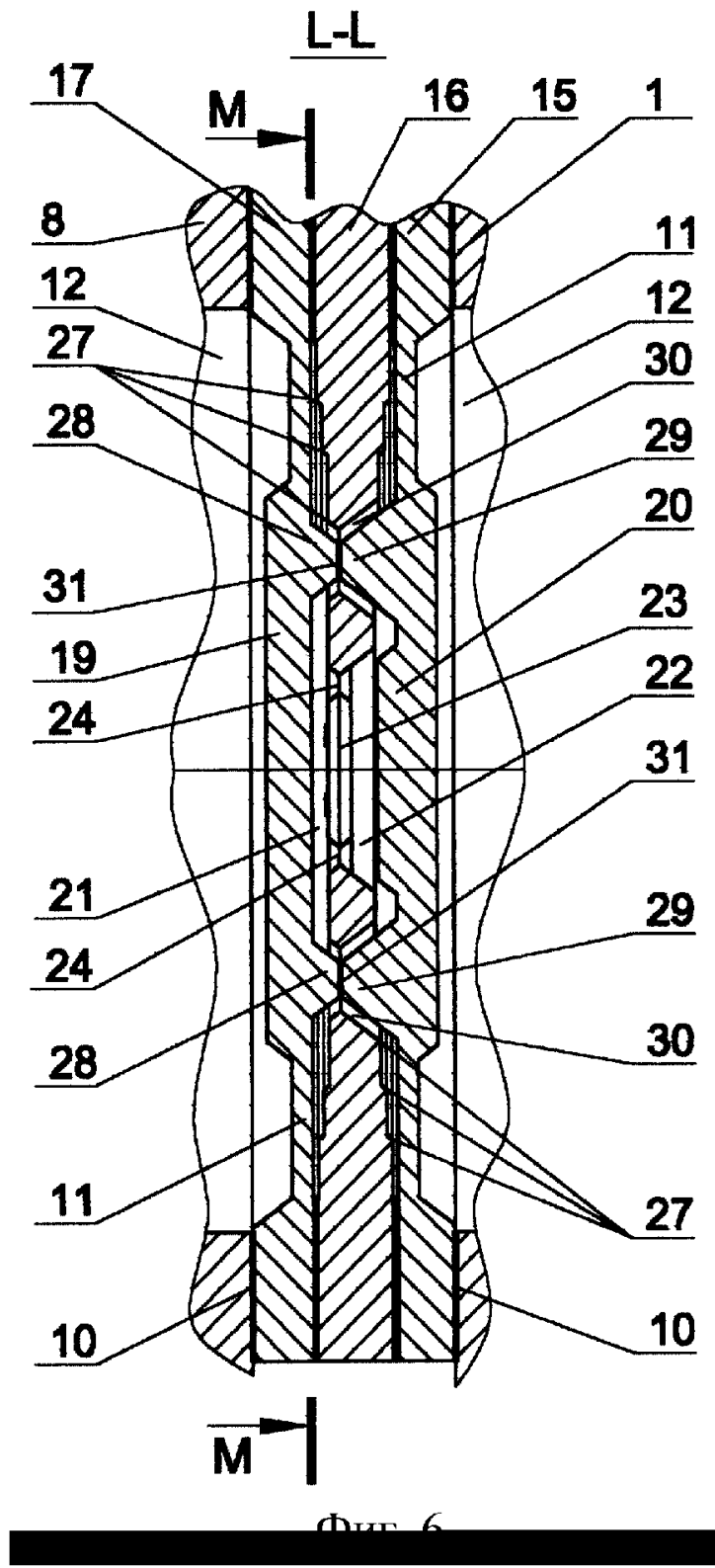


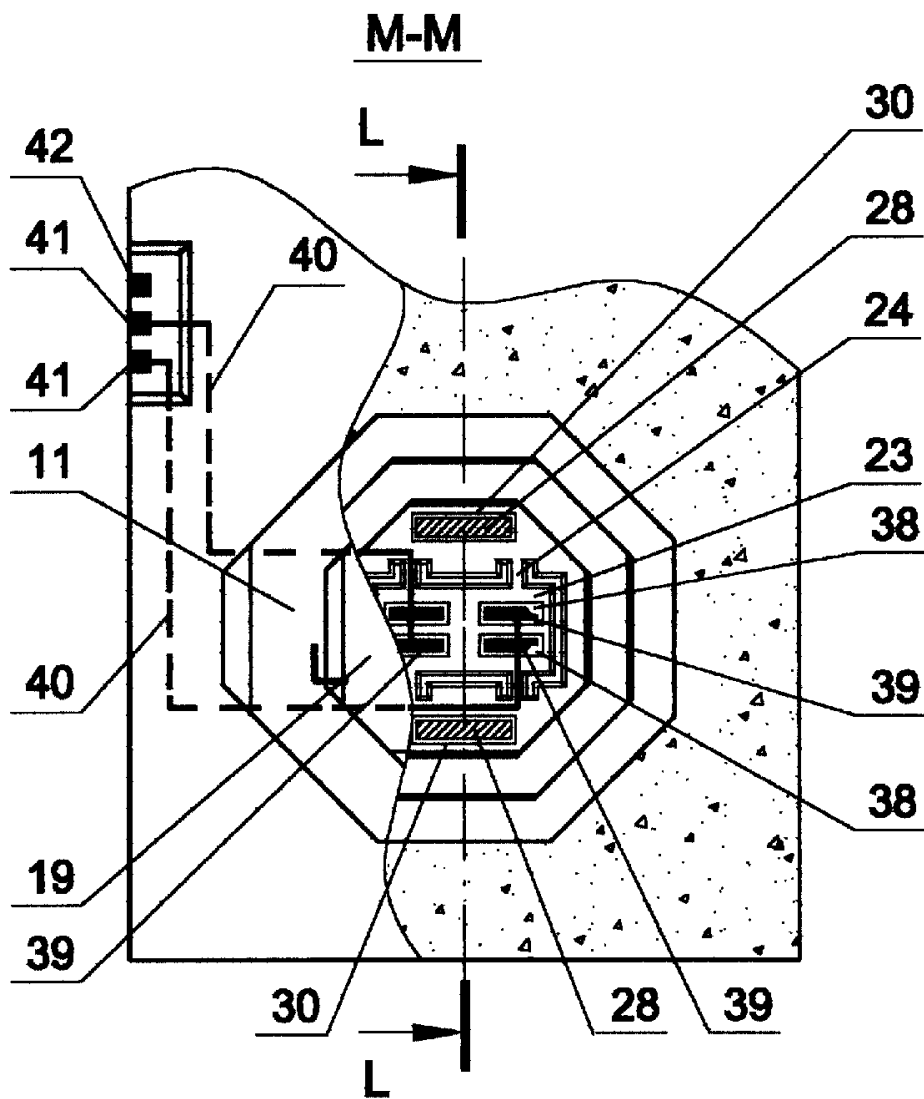
Фиг. 4



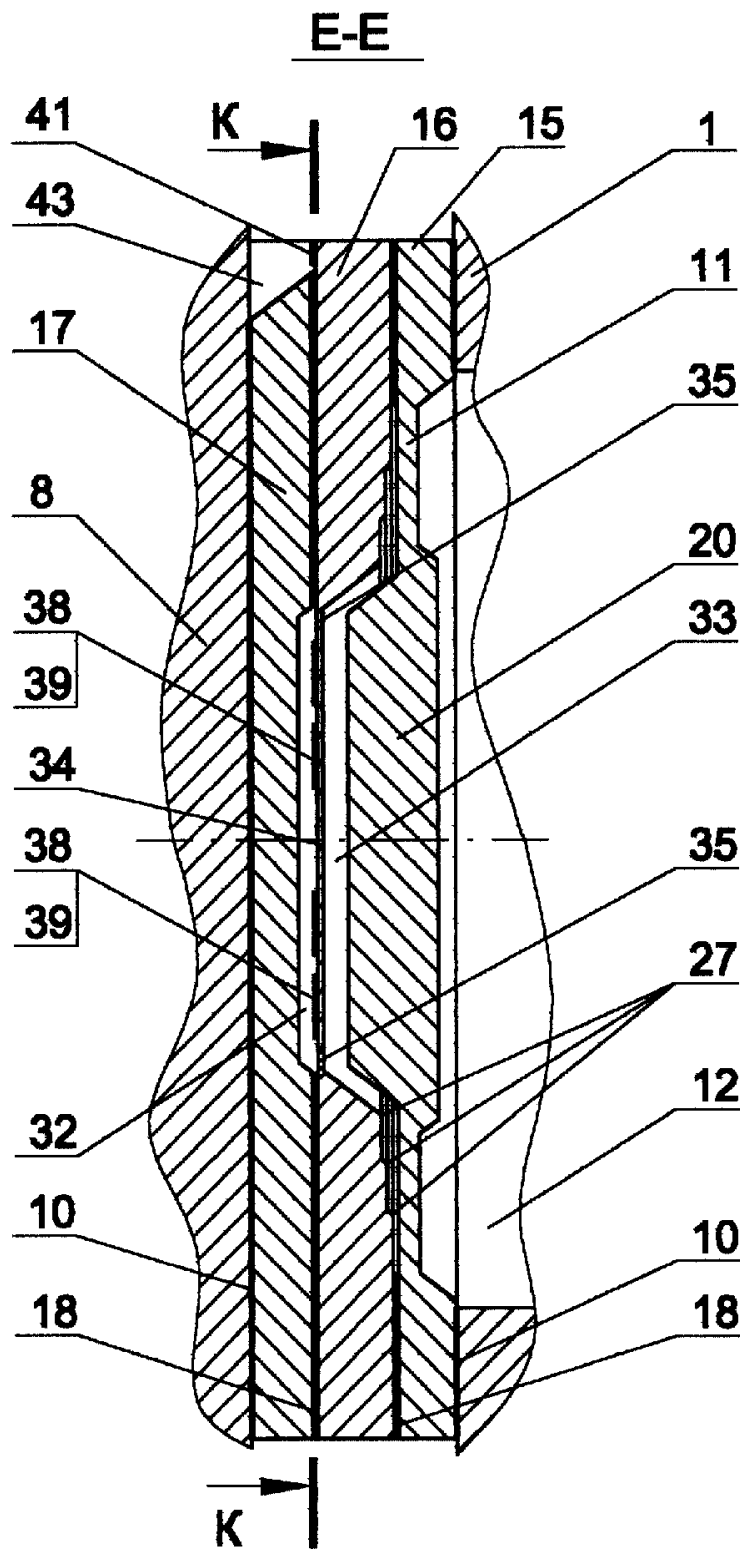
Фиг. 5



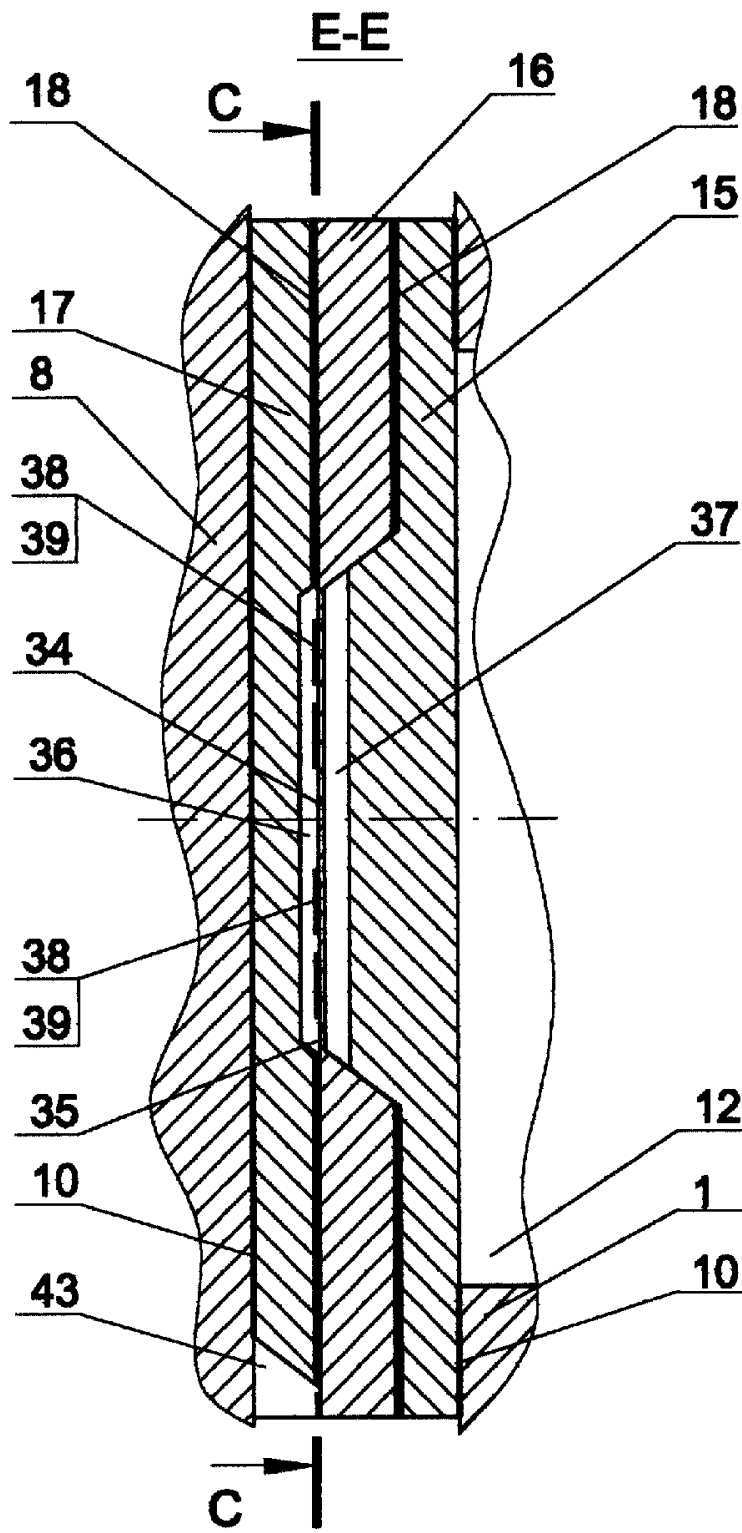




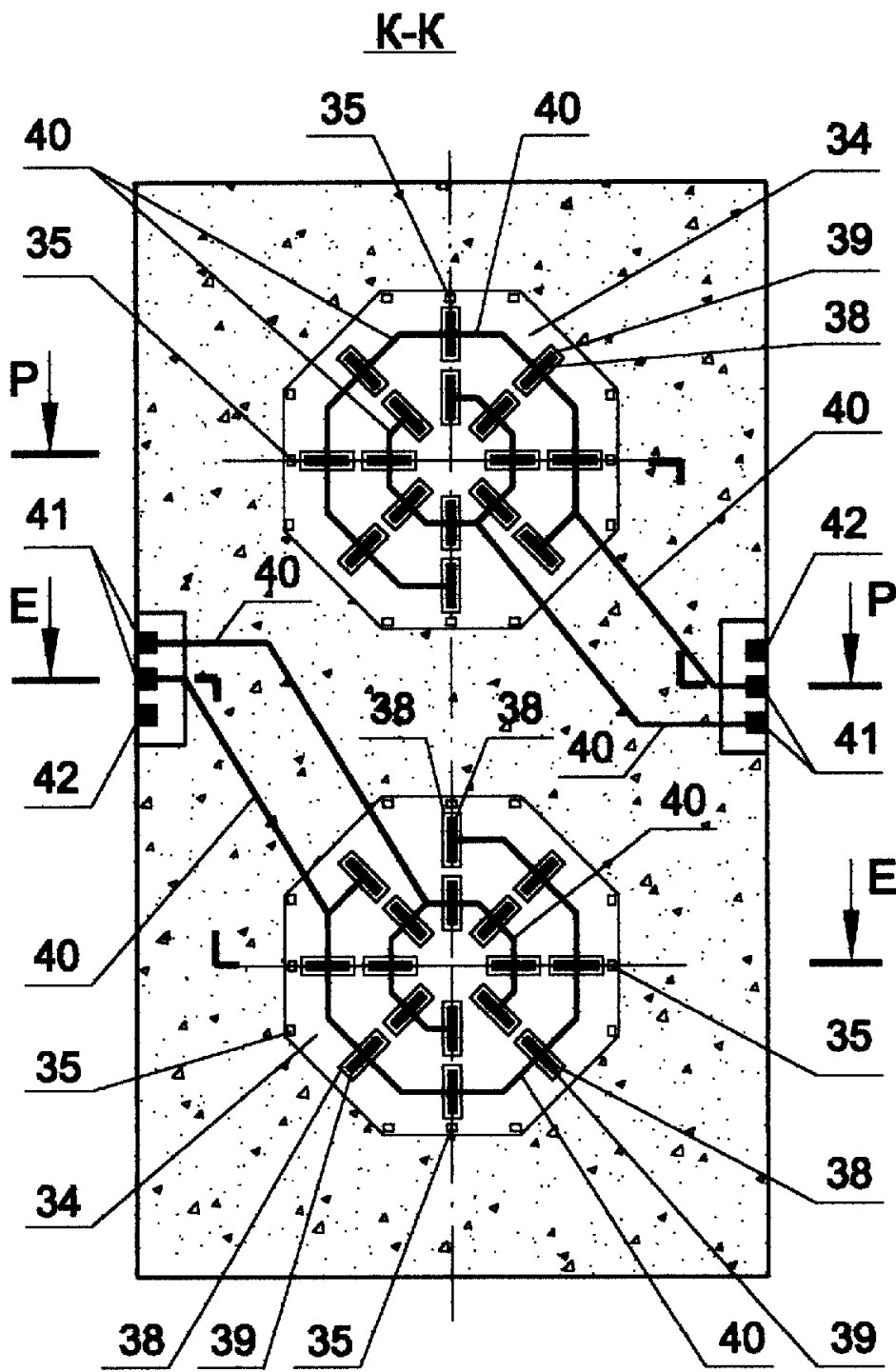
Фиг. 7



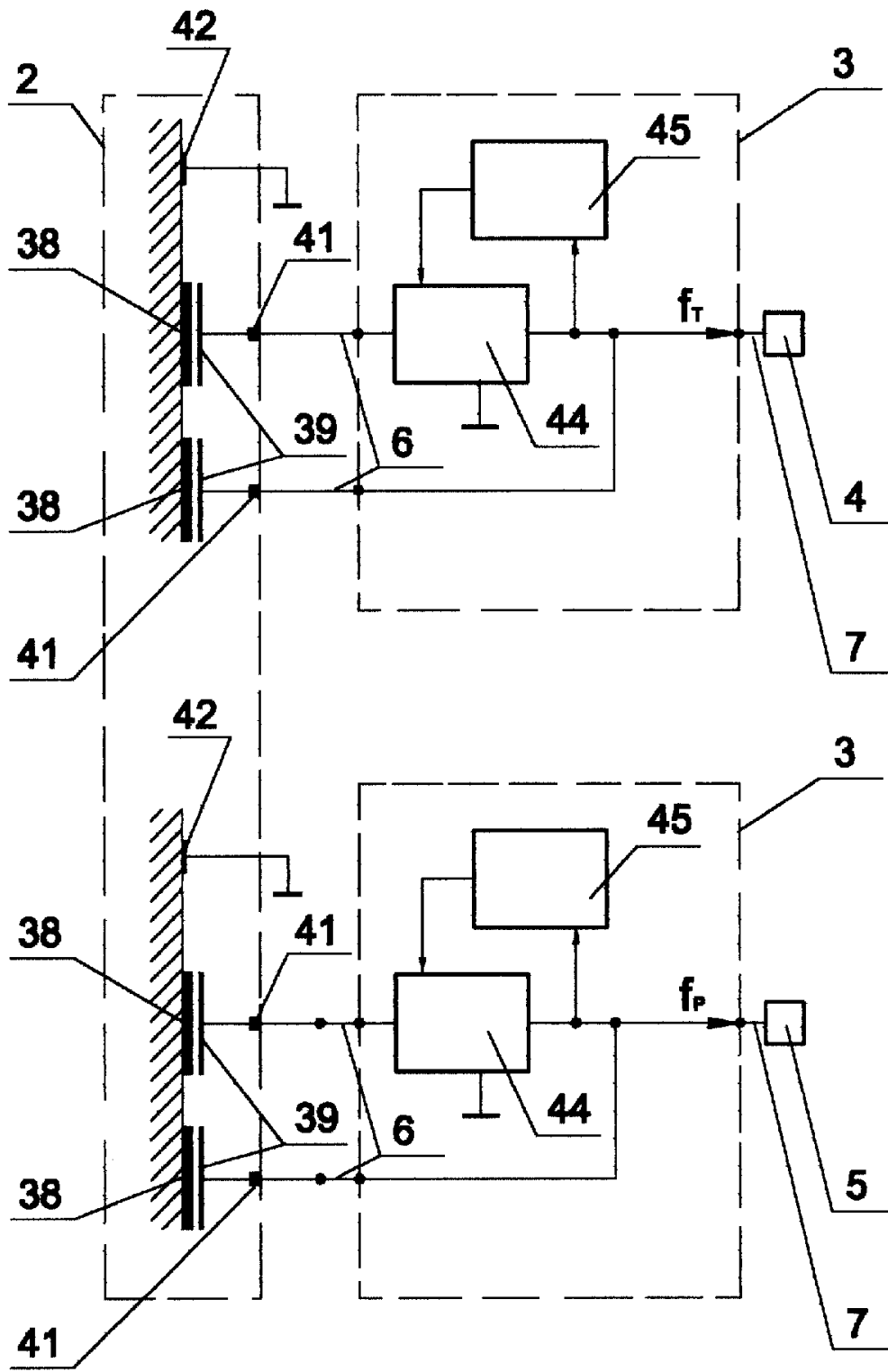
Фиг. 8



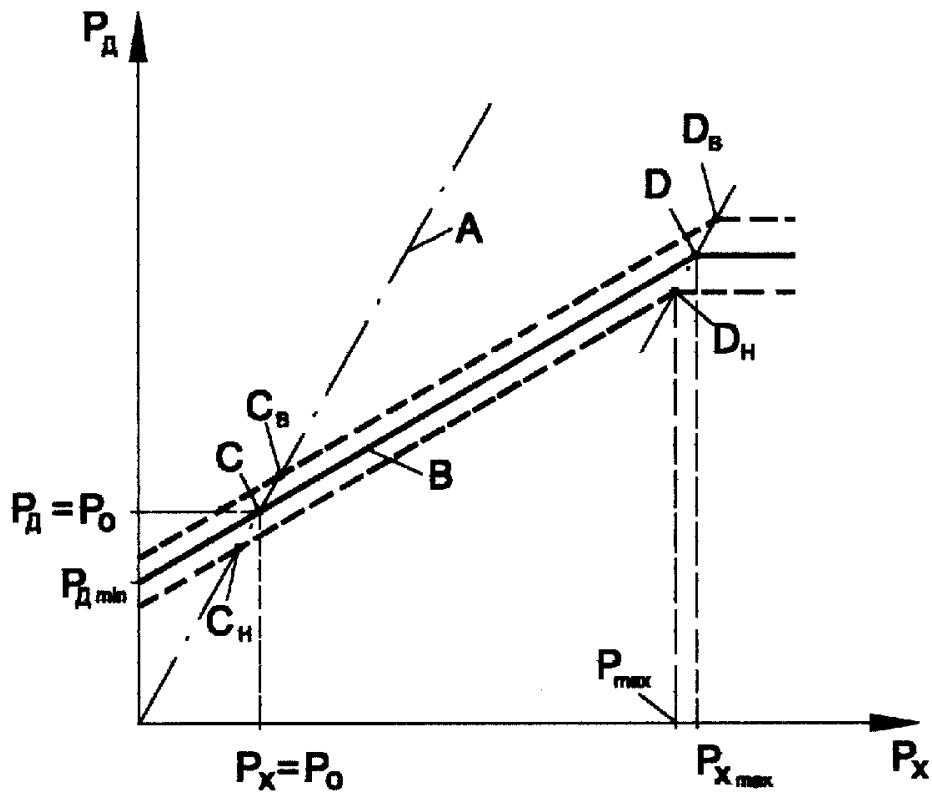
Фиг. 9



Фиг. 10



Фиг. 11



Фиг. 12

RU 2193172 C2

RU 2193172 C2