



УКРАЇНА

(19) UA (11) 20646 (13) A  
(51) 6 F 16 C 32/06ДЕРЖАВНЕ  
ПАТЕНТНЕ  
ВІДОМСТВООПИС ДО ПАТЕНТУ  
НА ВІНАХІДБез проведення експертизи по суті  
на підставі Постанови Верховної Ради України  
№ 3769-XII від 23.XII 1993 рПублікується  
в редакції заявника

(54) АЕРОСТАТИЧНА ОСЬОВА ОПОРА

1

(21) 97031154  
(22) 14.03.97  
(24) 05.08.97  
(46) 27.02.98. Бюл. № 1  
(47) 05.08.97  
(72) Шепелев Анатолій Олександрович,  
Зіненко Анатолій Миколайович  
(73) Інститут надтвердих матеріалів  
ім. В.М.Бакуля НАН України  
(57) 1. Аэростатическая осевая опора, со-  
держащая корпус, в котором размещены по-  
движный узел, выполненный в виде вала и  
пяты и установленные с зазорами относи-  
тельно пяты по обеим сторонам основания,  
жиклеры подачи газа в зазоры, а также узел  
стабилизации зазора, включающий датчик  
линейных перемещений и электрически свя-  
занные с ними компенсаторы перемещений  
с регуляторами давления, состоящими из  
пьезоэлектрических двигателей и регулиро-

2

вочных игл, установленными в камерах над-  
дува и жиклерами подачи газа, соосными ре-  
гулирующим иглам, отличающаяся тем,  
что вал и пята подвижного узла выполнены  
раздельно, при этом пята установлена на  
валу с возможностью изменения угла накло-  
на плоскости пяты к оси вращения вала, а  
компенсаторы перемещений установлены,  
по крайней мере на одном из оснований, в  
котором выполнены жиклеры подачи газа.

2. Аэростатическая осевая опора по п.1,  
отличающаяся тем, что пьезоэлектри-  
ческие двигатели снабжены толкателями,  
взаимодействующими с закрепленным, по  
крайней мере на одном из оснований, вве-  
денным в устройство, коромыслом, регули-  
ровочные иглы закреплены на коромысле,  
а точка взаимодействия толкателя с коро-  
мыслом находится между регулировочной  
иглой и осью поворота коромысла.

Изобретение относится к области стан-  
костроения, в частности к конструированию  
газостатических узлов и может быть исполь-  
зовано в прецизионных станках для обра-  
ботки особо чистых поверхностей.

Известна наиболее близкая по техниче-  
ской сути аэростатическая осевая опора  
[Авт.св. СССР № 1530855, кл. F 16 C 32/06,  
опубл. 23.12.89], содержащая корпус, в кото-  
ром размещены подвижный узел, выполнен-  
ный в виде вала и пяты и установленные с  
зазорами относительно пяты по обеим сто-

ронам основания, жиклеры подачи газа в  
зазоры, а также узел стабилизации зазора,  
включающий датчик линейных перемеще-  
ний и электрически связанные с ними ком-  
прессоры перемещений с регуляторами  
давления, состоящими из пьезоэлектриче-  
ских двигателей и регулировочных игл, уста-  
новленными в камерах наддува и жиклерами  
подачи газа соосными регулировочным иг-  
лам. В этой опоре вал и пята подвижного  
узла выполнены за одно целое, компенсато-  
ры перемещений установлены на валу по-

(19) UA (11) 20646 (13) A

движного узла с зазорами относительно тыльной стороны основания, в компенсаторах перемещения выполнены камеры наддува и жиклеры подачи газа в зазоры между компенсаторами перемещения и основанием, причем регуляторы давления размещены в камерах наддува напротив жиклеров подачи газа, кроме того жиклеры подачи газа выполнены в пяте.

В известной аэростатической опоре обеспечивается компенсация осевой нагрузки без осевого смещения вала за счет изменения давления газа в зазорах между компенсаторами перемещения и основанием.

Однако при использовании таких опор в шпиндельных узлах с упругими радиальными опорами жесткая связь вала с пятой подвижного узла будет препятствовать прецессии оси вращения или же будет перекашиваться пята, что приведет к задиру и разрушению осевой опоры.

Кроме того, вследствие того, что пьезоэлектрические двигатели жестко связанные с иглами, являются аperiodическим звеном устройства, регуляторы давления будут обрабатывать сигнал погрешности осевого положения вала с запаздыванием, что приведет к увеличению осевого вала под воздействием внешней нагрузки.

В основу изобретения поставлена задача такого совершенствования конструкции заявляемой аэростатической осевой опоры, при котором за счет изменения связей между элементами конструкции, их взаиморасположения и введения новых элементов обеспечивается возможность прецессии оси вращения вала без смещения плоскости пяты относительно геометрической оси вращения вала при использовании аэростатической осевой опоры в шпиндельных узлах с упругими радиальными опорами, а также будет значительно уменьшено запаздывание во времени обработки регуляторами давления сигнала погрешности осевого положения вала, также снизится на 1-2 порядка напряжение сигналов управления.

Для решения этой задачи в аэростатической осевой опоре, содержащей корпус, в котором размещены подвижный узел, выполненный в виде вала и пяты и установленные с зазорами относительно пяты по обеим сторонам основания, жиклеры подачи газа в зазоры, а также узел стабилизации зазора, включающий датчик линейных перемещений и электрически связанные с ним компенсаторы перемещения с регуляторами давления, состоящими из пьезоэлектрических двигателей и регулировочных игл, установленными в камерах наддува и жиклерами

подачи газа соосными регулировочным иглам, согласно изобретению, вал и пята подвижного узла выполнены отдельно, при этом пята установлена на валу с возможностью изменения угла наклона плоскости пяты к оси вращения вала, а компенсаторы перемещений установлены, по крайней мере на одном из оснований, в которых выполнены жиклеры подачи газа, кроме того в аэростатической осевой опоре пьезоэлектрические двигатели могут быть снабжены толкателями, взаимодействующими с закрепленными, по крайней мере на одном из оснований, введенным в устройство, коромыслом, регулировочные иглы при этом закреплены на коромыслах, а точка взаимодействия толкателя с коромыслом находится между регулировочной иглой и осью поворота коромысла.

Причинно-следственная связь совокупности признаков заявляемого технического решения с достигаемым техническим результатом состоит в следующем.

Из-за большой емкости пьезокерамических пластин пьезоэлектрических двигателей регуляторов давления регуляторы давления являются аperiodическими звеньями устройства автоматического управления (узла стабилизации осевого положения вала). Поэтому сигналы управления, подаваемые на пьезоэлектрические двигатели, достигают своего значения с задержкой по закону

$$U_{\text{пэд}} = U_{\text{сигн}} \cdot (1 - e^{-\frac{t}{T}}),$$

где  $U_{\text{сигн}}$  - напряжение сигнала управления;  $T$  - постоянная времени пьезоэлектрического двигателя.

Для уменьшения задержки обработки сигнала управления  $U_{\text{сигн}}$  в устройство автоматического управления вводят пропорциональные звенья, в виде коромысел с установленными на них регулировочными иглами регуляторов давления (фиг.1). Тогда, если толкатели, установленные на пьезоэлектрических двигателях, делают плечи коромысла в соотношении  $k = 1:10$ , запаздывание обработки сигнала управления  $U_{\text{сигн}}$  уменьшается на порядок.

В том случае, если запаздыванием обработки сигнала  $U_{\text{сигн}}$  управления можно пренебречь, ввод пропорциональных звеньев в виде коромысел с установленными на них регулировочными иглами позволяет в "к" раз уменьшить амплитуду сигнала  $U_{\text{сигн}}$  управления на пьезоэлектрические двигатели регуляторов давления.

Кроме того, пята в заявляемой осевой аэростатической опоре установлена на валу с возможностью изменения угла наклона плоскости пяты к оси вращения вала, что позволяет использовать этот подпятник в шпиндельных узлах с упругими радиальными опорами, при работе которых ось вращения вала прецессирует с заданным углом при вершине конуса прецессии.

Изобретение иллюстрируется чертежами, где на фиг.1 изображен общий вид заявляемой аэростатической опоры в разрезе, в которой компенсаторы перемещений расположены по одну сторону пяты; на фиг.2 - сечение по А-А на фиг.1; на фиг.3 - сечение Б-Б на фиг.1; на фиг.4 - сечение В-В на фиг.1; на фиг.5 - сечение Г-Г на фиг.1; на фиг.6 - график зависимости величины зазора между торцом вала и основанием датчика величины зазора от напряжения задатчика; на фиг.7 - общий вид аэростатической осевой опоры в разрезе, в которой компенсаторы перемещений расположены по обе стороны пяты.

Аэростатическая осевая опора содержит (фиг.1,7) корпус 1, в котором размещены подвижный узел, состоящий из выполненных раздельно вала 2 и пяты 3, при этом пята 3 установлена на валу 2 с возможностью изменения угла наклона плоскости пяты 3 к оси вращения вала 2 за счет закрепления на валу 2 сферического сегмента 4. Пята 3 упруго поджата к этому сферическому сектору 4 с помощью прижимных устройств равномерно смещенных в окружном направлении, например, трех (фиг.2), состоящих (фиг.1,7) из корпуса 5, в котором размещены регулировочный винт 6, взаимодействующий с пружиной 7, установленной в направляющей 8, опирающейся на упорный шарик 9, возможны различные конструктивные решения для поджатия пяты 3 к валу 2, что относится к обычному проектированию для обеспечения целостности (сборки) устройства.

По обеим сторонам пяты 3 с зазорами относительно ее плоскости помещены основания 10, 11 с выполненными в них жиклерами 12 подачи газа в зазоры. Заявляемое устройство содержит также узел стабилизации зазора, включающий, установленный у торца вала 2 с зазором, датчик линейных перемещений 13 и электрически связанные с ним компенсаторы перемещений 14, установленные в камерах наддува 15 на одном из оснований 10 (фиг.1) или на обоих основаниях 10, 11 (фиг.7).

Компенсаторы перемещений 14 снабжены регуляторами давления, состоящими из пьезоэлектрических двигателей 16 и регулировочных игл 17 соосных жиклерам 12. Воз-

можно соосное расположение регулировочных игл 17 и пьезоэлектрических двигателей 16, на которые воздействуют винтами 18 встроенными в стенке 19 камеры наддува 15.

Однако наиболее целесообразное решение, позволяющее подавать сигналы управления на пьезоэлектрические двигатели 16 без задержки, что необходимо для обеспечения прецессии оси вращения вала 2 с заданным углом при вершине конуса прецессии представлено в п.2 формулы изобретения и состоит в снабжении пьезоэлектрических двигателей 16 толкателями 20, взаимодействующими с закрепленным, по крайней мере на одном из оснований, введенном в устройство, коромыслом 21, регулировочные иглы 17 и закреплены на коромыслах 21, а точка взаимодействия толкателя 20 с коромыслом 21 находится между регулировочной иглой 17 и осью 22 поворота коромысла 21, причем постоянное прилегание коромысел 21 к толкателю 20 обеспечивают пружины 23.

Точка упора толкателя 20 в коромысло 21 делит расстояние между осью 22 вращения коромысла 21 и осью симметрии регулировочных игл 17 в заданном соотношении "n". Следовательно, величина перемещения регулировочных игл 17 в "n" раз больше величины перемещения толкателей 20. Например, если толкатели 20 делят плечи коромысла 21 в соотношении 1:10 запаздывание отработки сигнала управления уменьшается на порядок. В том случае, если запаздыванием отработки сигнала управления можно пренебречь, ввод таких звеньев с коромыслами позволяет в то же число раз уменьшить амплитуду сигнала управления на пьезоэлектрические двигатели 16 регуляторов давления 16-17.

Сигнал датчика 13 линейных перемещений (фиг.5) преобразователем 24 емкость - напряжение преобразуется в напряжение, пропорциональное величине зазора между торцом вала 2 и датчиком 13 линейных перемещений.

Напряжение, пропорциональное начальному значению величины зазора, которое соответствует несмещенному осевому положению вала 2, формируется задатчиком 25. Сигналы преобразователя 24 и задатчика 25 сравниваются на элементе 26 сравнения (фиг.5).

Сигнал рассогласования с выхода элемента 26 сравнения усиливается усилителем 27 и поступает на пьезодвигатели 16.

Для выбора режима работы аэростатической осевой опоры в состав устройства может выходить переключатель 28, который позволяет отключить выход преобразовате-

ля 24 от элемента 26 сравнения, а также переключатель 30, который позволяет отключить усилитель 27 от пьезоэлектрических двигателей 16.

Причем, датчик 13 линейных перемещений соединен с преобразователем 24, выход преобразователя 24 соединен с переключателем 28, а переключатель 28 соединен с первым входом элемента 26 сравнения, выход датчика 25 соединен с вторым входом элемента 26 сравнения, выход элемента 26 сравнения соединен с входом усилителя 27, выход усилителя 27 соединен с переключателем 29, а переключатель 29 соединен с пьезодвигателями 16.

Перед началом работы производят выбор режима работы аэростатической осевой опоры. Для этого переключатели 28 и 29 переводят в нижнее положение (фиг.5). В результате выход преобразователя 24 отключают от элемента 26 сравнения, а выход усилителя 27 отключают от пьезоэлектрических двигателей 16.

С помощью регулировочных винтов 18 (фиг.1) перемещают пьезоэлектрические двигатели 16, а вместе с ними укрепленные на них толкатели 20. Под воздействием толкателей 20 коромысла 21 поворачиваются вокруг осей 22 и укрепленными на них регулировочными иглами 17 изменяют площади поперечных сечений подводящих каналов регулируемого проходного сечения жиклеров 12.

При увеличении площадей поперечных сечений подводящих каналов давление в зазоре правого подпятника 11 повышается.

Под воздействием разности  $\Delta W$  давления в зазорах правого подпятника 11 и левого подпятника 10

$$\Delta W = W_{11} - W_{10}$$

пяты 3, а следовательно, и вал 2, смещаются в сторону левого подпятника 10. Давление в зазоре левого подпятника 10 повышается и в момент выполнения равенства  $\Delta W = 0$  вал 2 займет новое положение.

При смещении вала 2 в сторону левого подпятника 10 зазор под датчиком 13 (фиг.1) увеличивается, напряжение на выходе преобразователя 24 увеличивается пропорционально величине этого зазора и измеряется вольтметром.

Последовательно изменяя положение пьезоэлектрических двигателей 16 добиваются максимального смещения вала 2 в сторону левого подпятника 10, что достигается при полностью открытых подводящих каналах регулируемого проходного сечения жик-

леров 12. Контроль за величиной смещения вала 2 осуществляется по измерениям выходного напряжения преобразователя 24.

В результате выполнения описанных выше действий пьезоэлектрические двигатели 16 относительно коромысел 21 займут такие положения, при которых (при нулевых сигналах управления на пьезоэлектрические двигатели 16) подводящие каналы жиклеров 12 становятся полностью открытыми.

Выход усилителя 27 переключателем 29 подключают к пьезостолбам 16. Повышают с дискретой  $\Delta U$  напряжение на выходе датчика 25. На каждой дискрете выходного напряжения датчика 25 измеряют (с помощью вольтметра) выходное напряжение на выходе преобразователя 24, пропорциональное и однозначно соответствующее величине  $Z$  зазора под датчиком 13, и строят зависимость величины этого зазора (величины смещения вала 2) от напряжения датчика 24 (фиг.6). По полученной зависимости выбирают начальное значение  $Z_{нач}$  между датчиком 13 и торцом вала 2 на линейном участке этой зависимости с большой крутизной. Тогда зазору  $Z_{нач}$  будет соответствовать такое положение регулировочных игл 17, отклонение от которого в сторону увеличения или уменьшения площадей поперечных сечений подводящих каналов регулируемого проходного сечения жиклеров 12 обеспечивает компенсацию максимальной осевой нагрузки по сравнению с другими начальными значениями этого зазора.

Переключателем 28 подключают преобразователь 24 к элементу 26 сравнения. Изменяют напряжение на выходе датчика 24 и устанавливают величину зазора под датчиком 13, равном  $Z_{нач}$ . Установку начальной величины зазора  $Z_{нач}$  выполняют по величине выходного напряжения преобразователя 24. Аэростатическая осевая опора готова к работе.

Аэростатическая осевая опора работает следующим образом.

Пусть под воздействием, например, осевой составляющей силы шлифования пяты 3 она начнет смещаться в сторону правого подпятника 11. В результате зазор между торцом вала 2 и датчиком 13 (фиг.1) начинает уменьшаться. Пропорционально уменьшению этого зазора уменьшается напряжение на выходе преобразователя 24, а сигнал рассогласования на выходе элемента 26 сравнения увеличивается и поступает на вход усилителя 27. Усиленный проинвентированный сигнал с выхода усилителя 27 поступает на пьезоэлектрические двигатели 16. Пьезоэлектрические двигатели 16 укорачиваются. В результате коромысла 21 под воздействи-

ем пружин 23 поворачиваются вокруг осей 22 и приоткрывают подводящие каналы регулируемого проходного сечения жиклеров 12. Давление в зазоре правого подпятника 11 повышается и предотвращает смещение вала 2. Если под воздействием осевой нагрузки пята 3 начинает смещаться в сторону левого подпятника 10 зазор под датчиком 13 начинает увеличиваться. В результате увеличивается напряжение на выходе преобразователя 24. Сигнал рассогласования на выходе элемента 26 сравнения изменяет полярность и поступает на вход усилителя 27, а с его выхода усиленный проинвентированный сигнал поступает на пьезоэлектрические двигатели 16. Пьезоэлектрические двигатели 16 удлиняются и толкателями 20 поворачивают коромысла 21 вокруг осей 22. Регулировочные иглы 17 прикрывают подводящие каналы регулируемого проходного сечения жиклеров 12. Давление в зазоре правого подпятника 11 уменьшается. Под воздействием разности давлений  $\Delta W = W_{10} - W_{11}$  в левом подпятнике 10 и правом подпятнике 11 вал 2 займет несмещенное положение.

Величина погрешности положения вала 2 под воздействием осевой нагрузки равна величине  $\Delta Z$  отклонения величины зазора под датчиком 13, от его начального значения  $Z_{нач}$ .

В данном случае, как и во всяком автоматическом устройстве управления (АУУ), реализующем принцип управления по отклонению, величина осевого смещения вала  $\Delta Z$  определяется следующими факторами:

1. Точностью измерения управляемой величины измерительным элементом.

В данном случае управляемый величиной является значение  $Z_{нач}$  (фиг.6) величины зазора, а измерительным элементом являются датчик 13 и преобразователь 24. В настоящее время (Гриневич Б.Ф. и др. Измерительные компенсационно-мостовые устройства с емкостными датчиками. - К.: "Наукова думка", 1987) точность измерителей микроперемещений составляет  $10^{-3} - 10^{-4}$  изменяемой величины. Следовательно, при величине  $Z_{нач} = 30$  мкм погрешность измерения составляет  $3 \cdot 10^{-2}$  мкм. Тогда при величине зазора  $Z_{нач} = 30$  мкм и выходном напряжении преобразователя 24 равном 5В погрешности измерения  $3 \cdot 10^{-2}$  мкм соответствует  $0,5 \cdot 10^{-2}$  В шума на выходе преобразователя 24.

2. Стабильностью напряжения на выходе датчика 24.

В качестве датчика 24 может быть использован источник постоянного напряжения, схема которого приведена в журнале "Радио", 1991, № 3, с. 50. Нестабильность этого источника не превышает 10-5 величины выходного напряжения. Например, при  $U_{вых.} = 5В$  нестабильность (шум) источника постоянного напряжения не превышает  $0,5 \cdot 10^{-4}В$ .

3. Шумом на выходе устройства 26 сравнения.

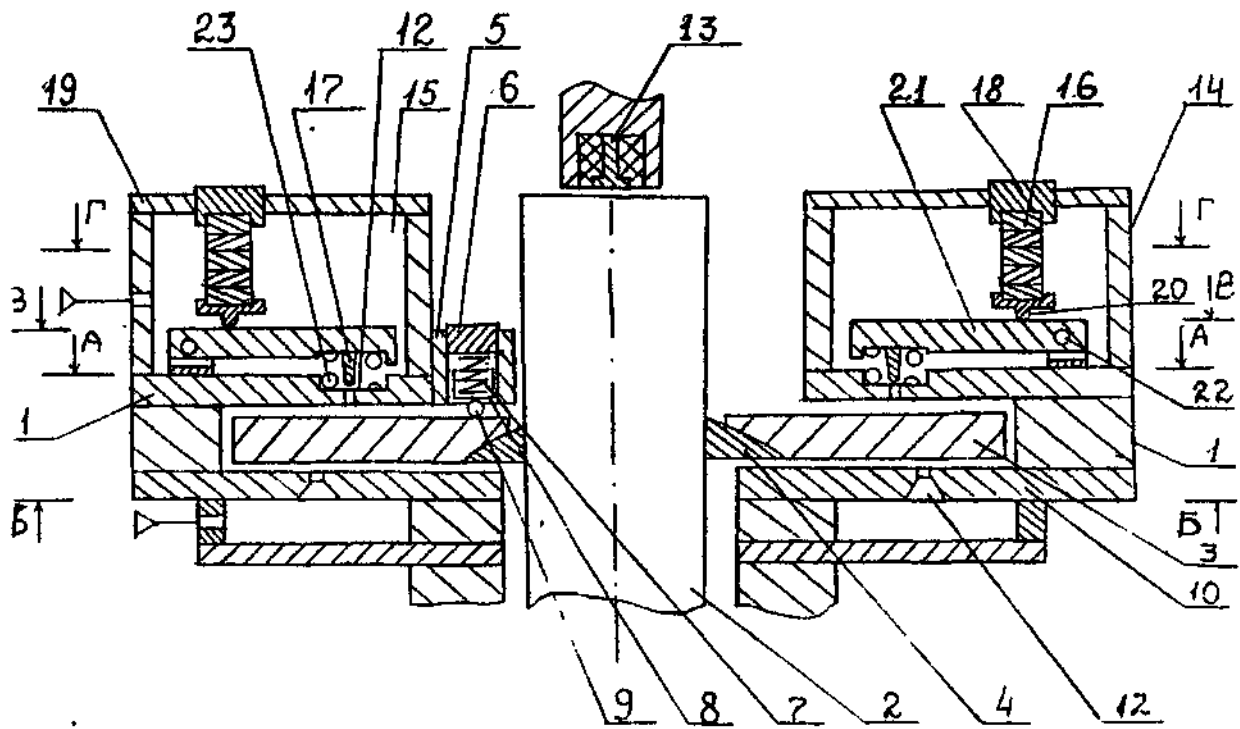
Шум на выходе устройства 26 сравнения в диапазоне осевых нагрузок шлифовального станка может не превышать 10 мкВ.

4. Шумом оконечного усилителя 27.

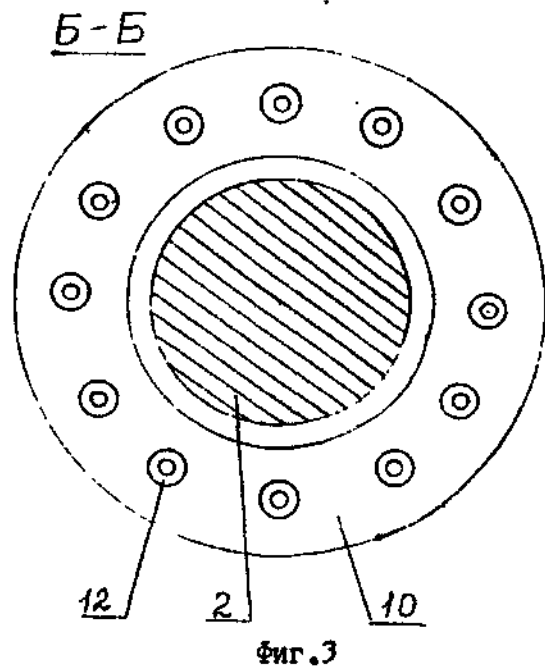
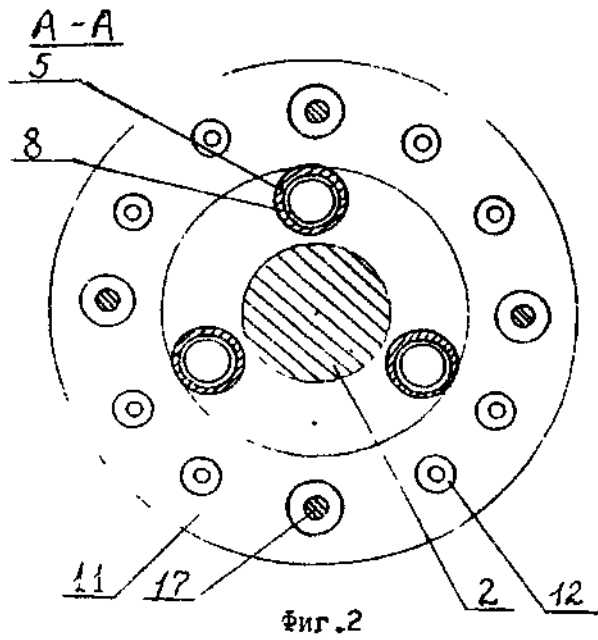
Усилитель 27 является пропорциональным звеном АУУ, передаточная функция которого имеет вид  $X_{вых.}(t) = k \cdot X_{вх.}(t)$ .

Приведенная ко входу погрешность (шум) прецизионных усилителей не превышает 10 мкВ и ею можно пренебречь. Тогда шум преобразователя 24, датчика 25 и устройства 26 сравнения, приведенного ко входу усилителя 27 для принятых  $Z_{нач.}$  выходных напряжений преобразователя 24 и датчика 25, и принятых значений их собственных шумов, не превышает  $0,15 \cdot 10^{-1}В$ . Если 250 В напряжения на выходе усилителя 27 соответствует 50 мкм перемещения регулировочной иглы 17, а коэффициент усиления усилителя 27  $k=100$ , погрешность положения регулировочной иглы 17 составляет  $\Delta = 0,3$  мкм. Тогда, если для компенсации осевой нагрузки  $P_0 = 50$  кГ перемещение регулировочной иглы 17 составляет 50 мкм, погрешности ее положения  $\Delta = 0,3$  мкм соответствует 0,3 кГ некомпенсированной осевой нагрузки. При жесткости осевой аэростатической опоры 5 кГ/мкм это составляет  $\Delta Z = 0,06$  мкм погрешности положения вала аэростатической осевой опоры.

Для расширения диапазона нагрузок воспринимаемых осевой аэростатической опорой без смещения оси вращения вала 2 в левом подпятнике 10 (фиг.7) также выполняют жиклеры 12 с подводящими каналами регулируемого проходного сечения, каждый из которых оснащен быстродействующим регулятором давления. При этом пьезоэлектрические двигатели 16 быстродействующих регуляторов давления правого подпятника и пьезоэлектрические двигатели 16 левого подпятника 10 к выходу усилителя 27 подключаются в противофазе.



Фиг. 1



B-B

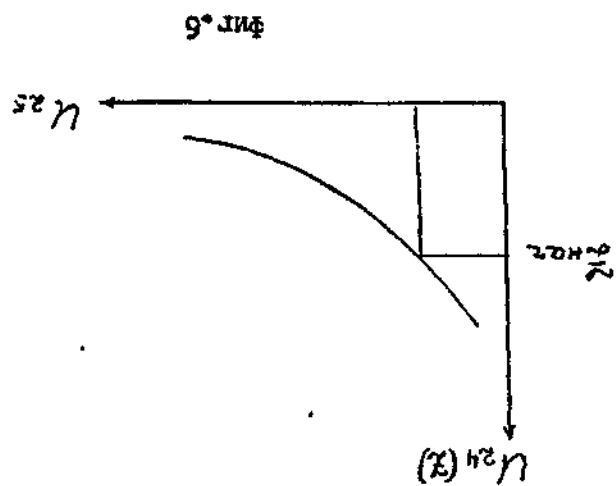
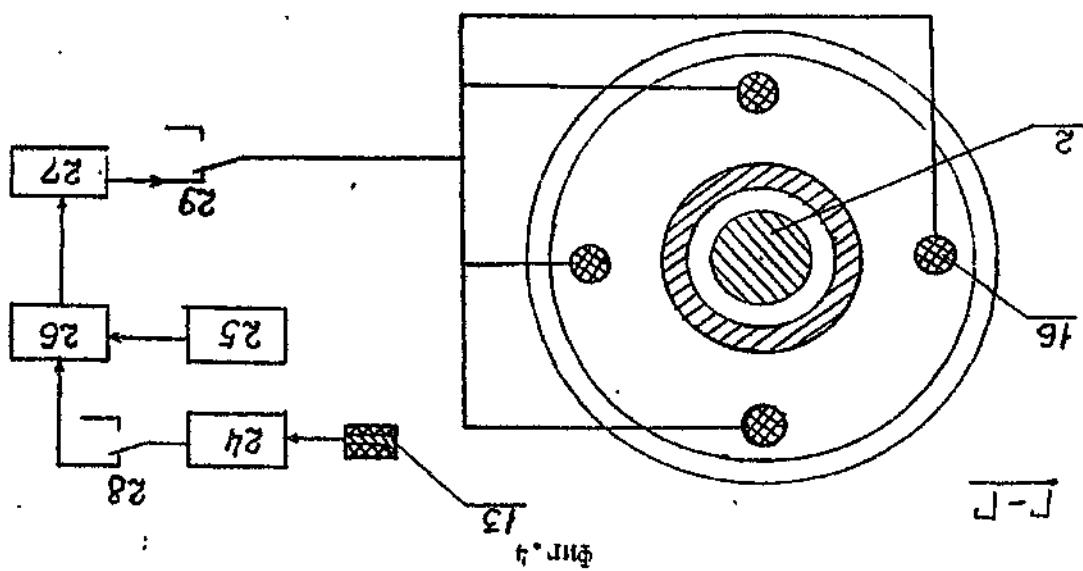
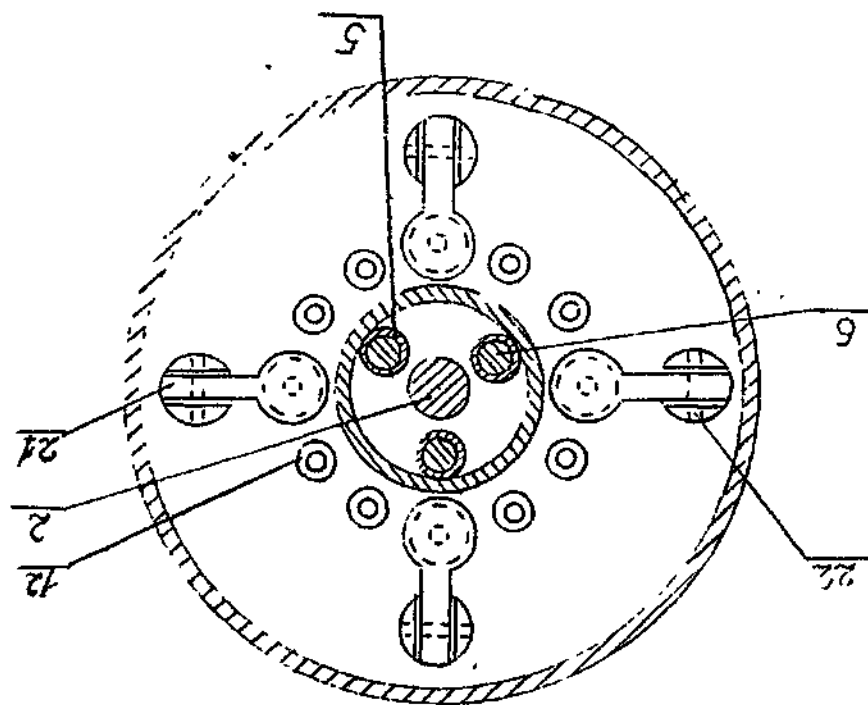
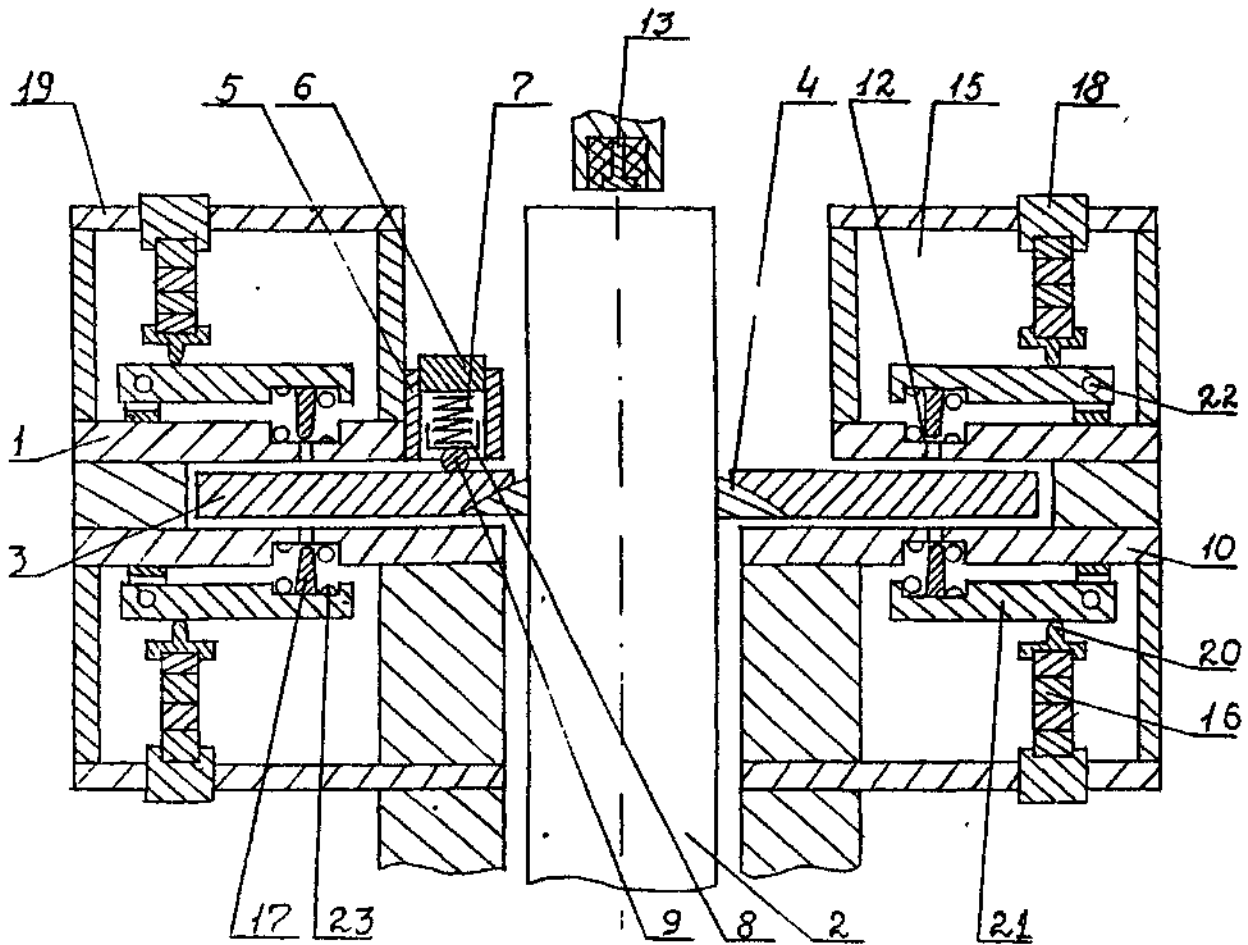


FIG. 5

FIG. 6



Фиг. 7

Упорядник

Техред М.Келемеш

Коректор М.Керецман

Замовлення 4395

Тираж

Підписне

Державне патентне відомство України,  
254655, ГСП, Київ-53, Львівська пл., 8

Відкрите акціонерне товариство "Патент", м. Ужгород, вул.Гагаріна, 101