

(19)



**Евразийское  
патентное  
ведомство**

(11) **045654**

(13) **B1**

(12) **ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОМУ ПАТЕНТУ**

(45) Дата публикации и выдачи патента  
**2023.12.13**

(51) Int. Cl. **G01B 7/16** (2006.01)  
**G01L 1/22** (2006.01)

(21) Номер заявки  
**202292006**

(22) Дата подачи заявки  
**2022.07.26**

---

(54) **УСТРОЙСТВО ИЗМЕРЕНИЯ ДЕФОРМАЦИЙ**

---

(31) **u20220016**

(32) **2022.01.24**

(33) **BY**

(43) **2023.07.31**

(71)(73) Заявитель и патентовладелец:  
**ЗАКРЫТОЕ АКЦИОНЕРНОЕ  
ОБЩЕСТВО  
"МЕХАТРОНИКА" (BY)**

(56) BY-U-12262  
EA-B1-004197  
RU-C1-2711183  
RU-U1-153908  
US-A-5522270  
KR-A-20130052113  
RU-C1-2786759

(72) Изобретатель:  
**Апанасевич Дмитрий Станиславович,  
Зайцев Александр Игоревич,  
Затуренский Анатолий Григорьевич  
(BY)**

(74) Представитель:  
**Гончаров В.В. (BY)**

---

(57) Изобретение относится к измерительной технике, а именно к устройствам измерения деформаций, основанным на тензометрических датчиках, и направлено на уменьшение размеров устройства, увеличение срока эксплуатации и повышение надежности работы электрической схемы обработки сигнала при предотвращении смещения нулевого значения "0" измеряемого сигнала и возникновения петли гистерезиса в рабочем диапазоне сигналов. Устройство измерения деформаций включает закрепленный в съёмном корпусе на основании в виде пластины с дугообразной средней частью, переходящей в краевые части, содержащие крепежные отверстия, датчик деформации с размещённым на вогнутой поверхности дугообразной части пластины тензорезисторным мостом и электрическую схему обработки сигнала, при этом съёмный корпус датчика деформации фиксируется основанием, пластина основания датчика выполнена трёхзонной в соответствии с изменяющимся сечением пластины - от зоны наименьшего сечения в её дугообразной части через увеличивающееся сечение в зоне перехода до зоны наибольшего сечения на краевых частях по отношению к сечению её дугообразной части, при этом краевые части разделены ортогонально направлению их фиксации через крепёжные отверстия на два элемента, один из которых является фиксируемой плоской краевой частью пластины, а второй - ответным фиксирующим ложементом, а электрическая схема обработки сигнала дополнительно содержит акселерометр и датчик температуры, схемотехнически связанные с управляющим микропроцессором.

---

**045654**  
**B1**

**045654**  
**B1**

Изобретение относится к измерительной технике, а именно к устройствам измерения деформаций, основанным на тензометрических датчиках, и предназначено для точного определения нагрузки на узлы и детали механизмов посредством измерения их деформаций.

Известен датчик деформаций [1], выполненный в виде дугообразной пластинки с плавным уменьшением ширины от краев к центру и одинаковой толщины по всей длине, наклеенными тензорезисторами на внешней поверхности деформируемой центральной части пластинки и отдельным корпусом с преобразователем сигнала тензорезисторов, закрепленным на одном из краев пластинки.

Однако датчик деформаций [1] имеет ряд существенных недостатков, а именно: сравнительно большие габариты, что осложняет установку в ограниченных пространствах; отсутствие однозначно описанного перехода зоны деформации и сечения в местах крепления к исследуемой детали, что снижает чувствительность на малых сигналах и усложняет функцию преобразования деформации в сигнал датчика, увеличивает реакцию в опорах; сварной способ крепления комплектного датчика к исследуемой детали не обеспечивает сохранения работоспособности тензорезисторов, кроме того сварные швы при работе датчика работают на отрыв, что снижает надежность его работы; наличие остаточных начальных напряжений в пластинке датчика после сварки, которые приводят к смещениям нулевого значения "0" сигнала; отсутствие защитного корпуса тензорезисторов, что снижает их работоспособность при тяжелых условиях эксплуатации.

Известен датчик деформаций [2], содержащий корпус, закрепленный на основании датчика, выполненного в виде пластины, на котором корпус датчика выполнен съемным, основание выполнено в форме плоской пластины, средняя часть которой имеет дугообразную форму и выступы для фиксации корпуса, на плоских краях которой выполнены отверстия для крепления датчика, а к дугообразной поверхности основания прикреплен тензорезистивный мост.

Однако датчик деформаций [2] имеет ряд существенных недостатков, а именно: выступы для крепления корпуса сложны в серийном производстве, увеличивают размер датчика, стоимость заготовки и обработки; плоская форма соответствующих стыкуемых поверхностей, обращенных к исследуемой детали, не обеспечивает жесткости стыка, что приводит к смещениям нулевого значения "0" сигнала и увеличению гистерезиса сигнала во время эксплуатации; не установлено оптимальное соотношение сечения расчетной упругой дугообразной части с сечением крепежных плоских краев основания; в конструкции плоской пластины основания не исключаются зоны концентрации напряжения, что приводит к уменьшению срока эксплуатации и диапазона измеряемых деформаций; электрическая схема обработки сигнала недостаточно защищена от помех и скачков высокого напряжения, приходящих со стороны интерфейса.

Задачей заявляемого изобретения является уменьшение размеров, предотвращение смещения нулевого значения "0" измеряемого сигнала и возникновения петли гистерезиса в рабочем диапазоне сигналов, увеличение срока эксплуатации заявляемого устройства, повышение надежности работы электрической схемы обработки сигнала, определение технологии монтажа. Поставленная задача достигается устройством измерения деформаций, включающим датчик деформации с тензорезисторным мостом и схему электрическую обработки сигнала, в котором датчик деформации помещен в съемный корпус, фиксируемый на основании, выполненном в виде пластины с дугообразной средней частью, переходящей в плоские краевые части, содержащие крепежные отверстия, при этом пластина основания выполнена трёхзонной в соответствии с изменяющимся сечением пластины - от зоны наименьшего сечения в её дугообразной части через увеличивающееся сечение в зоне перехода до зоны наибольшего сечения на плоских краевых частях по отношению к сечению её дугообразной части, тензорезисторный мост закреплен на вогнутой поверхности дугообразной части пластины, а электрическая схема обработки сигнала содержит датчик температуры, схемотехнически связанный с управляющим микропроцессором, отличающееся тем, что съемный корпус датчика деформации фиксируется основанием, при этом плоские краевые части разделены ортогонально направлению их фиксации через крепежные отверстия на два элемента, один из которых является фиксируемой плоской краевой частью пластины, а второй - ответным фиксирующим ложементом, а электрическая схема обработки сигнала дополнительно содержит акселерометр, схемотехнически связанный с управляющим микропроцессором.

Съемный корпус датчика деформации выполнен с пазами, форма которых соответствует форме пластины в зоне перехода от её дугообразной части к краевым частям.

Зона перехода от дугообразной части пластины к краевым частям представляет собой галтель с радиусом от 2 до 5 мм.

Толщина краевых частей пластины от 5 до 10 раз больше толщины её дугообразной части.

Суммарная ширина краевых частей пластины от 1,5 до 6 раз больше ширины её дугообразной части.

Стыкуемые поверхности фиксируемой плоской краевой части пластины и ответного фиксирующего ложементов имеют шероховатость Ra в диапазоне от 1,6 до 3,2 мкм.

Сечения соответствующих стыкуемых поверхностей фиксируемой плоской краевой части пластины и ответного фиксирующего ложементов имеют L-, или V-, или W-, или П-образную форму, или другую многоступенчатую форму, или форму в виде ломаной кривой.

Сущность и конструкция в вариантах практического воплощения заявляемого устройства измере-

ния деформации приведена на фигурах следующих чертежей, где изображены:

на фиг. 1 - продольный разрез в горизонтальной плоскости, вид со стороны модуля схемы электрической обработки сигнала;

фиг. 2 - продольный разрез устройства в вертикальной плоскости;

фиг. 3 - пластина, вид со стороны тензорезисторного моста;

фиг. 4 - поперечный разрез пластины, закреплённой на исследуемой детали;

фиг. 5 - структурная электрическая схема обработки сигнала;

фиг. 6 - вариант соединения фиксируемой плоской краевой части пластины и ответного фиксирующего ложеента, стыкуемая поверхность которого имеет L-образную форму;

фиг. 7 - вариант соединения фиксируемой плоской краевой части пластины и ответного фиксирующего ложеента, стыкуемая поверхность которого имеет П-образную форму;

фиг. 8 - вариант соединения фиксируемой плоской краевой части пластины и ответного фиксирующего ложеента, стыкуемые поверхности которых выполнены в L-образной форме;

фиг. 9 - вариант соединения фиксируемой плоской краевой части пластины и ответного фиксирующего ложеента, стыкуемые поверхности которых выполнены в виде ломаной кривой;

фиг. 10 - вариант соединения фиксируемой плоской краевой части пластины и ответного фиксирующего ложеента, соединение которых дополнительно фиксируется вкладышем;

фиг. 11 - вариант соединения фиксируемой плоской краевой части пластины и ответного фиксирующего ложеента, соединение которых дополнительно фиксируется шпилькой.

Устройство измерения деформации содержит съёмный корпус 1 с кабельным вводом 2 (фиг. 1, 2). Корпус 1 закреплён на помещённом внутрь корпуса основании датчика, представленном в виде пластины 3, которое снизу закрыто крышкой 4. Внутри съёмного корпуса 1 размещён также модуль схемы электрической 5 обработки сигнала. Указанный модуль электрической схемы 5 закреплён на опоре 6 корпуса 1 саморезом 7. Крышка 4 закреплена на корпусе 1 саморезами 8.

Пластина 3 основания датчика выполнена трёхзонной, как показано на фиг. 3, в соответствии с изменяющимся сечением пластины - от зоны наименьшего сечения в её дугообразной части 9 через увеличивающееся сечение в зоне 10 перехода до зоны наибольшего сечения на краевых частях 11 по отношению к сечению её дугообразной части 9, при этом краевые части 11 разделены ортогонально направлению их фиксации через крепёжные отверстия 12 на два элемента, один из которых является собственно фиксируемой плоской 13 краевой частью пластины, а второй - ответным фиксирующим ложементом 14. (См. фиг. 4). При этом часть пластины, имеющая увеличивающееся сечение в зоне 10 перехода, предпочтительно выполнена с галтелями на всех переходах от дугообразной части 9 к краевым частям 11 с обеих сторон пластины.

Крепёжные отверстия 12 - по два с каждой стороны пластины 3 на её краевых частях 11 предназначены для крепления устройства измерения деформации на поверхности объекта, подвергающегося растяжению или сжатию под нагрузкой. При этом краевые части 11 разделены в горизонтальной плоскости по толщине на фиксируемые плоские 13 краевые части пластины и на ответные фиксирующие ложементы 14.

В дугообразной части 9 закреплён тензорезисторный мост 15, который предпочтительно приклеен на вогнутую поверхность дугообразной части 9 пластины 3 основания датчика (фиг. 3, 4).

Как отражено на электрической схеме обработки сигнала (фиг. 5), тензорезисторный мост 15 последовательно связан с усилителем 16, который последовательно связан со входом аналого-цифрового преобразователя 17 (АЦП), который, в свою очередь, последовательно связан со входом микроконтроллера 18, который также последовательно связан со входом интерфейса 19, который предпочтительно является беспроводным устройством, в частности, работает по принципу радиопередающего/радиоприёмного устройства.

Микроконтроллер 18 учитывает в расчетах корректировочные данные, полученные от датчика температуры 20 и от акселерометра 21. Тензорезисторный мост 15, усилитель 16, аналого-цифровой преобразователь 17 (АЦП) получают питание от источника питания (преобразователя-стабилизатора) 23, который соединен параллельно с источником питания (преобразователем-стабилизатором) 24, питающим микроконтроллер 18, датчик температуры 20 и акселерометр 21.

При этом оба источника питания 23 и 24 получают питание от преобразователя 25, который в свою очередь питается от блока 26 гальванических элементов (фиг. 5).

Тензорезисторный мост 15 датчика размещён на внутренней вогнутой поверхности дугообразной части 9 пластины 3 основания датчика. Упомянутая пластина, выступая в качестве кондуктора, применяется для предварительного позиционирования на исследуемой детали или конструкции ответных фиксирующих ложементов 14, и своими фиксируемыми плоскими 13 краевыми частями закрепляется посредством стягивающих болтов 27 и отгибных шайб 28 на ответные фиксирующие ложементы 14, которые, в свою очередь, закрепляются на исследуемой детали с помощью дуговой сварки.

Тензорезисторный мост 15 датчика воспринимает деформации растяжения/сжатия от исследуемой детали 29. При этом совокупность фиксирующих ложементов 14 с фиксируемыми 13 плоскими краевыми частями пластины 3 и стягивающими болтами 27 позволяют реализовать необходимое соотношение

жесткости дугообразной средней части 9 с краевыми частями 11 пластины 3.

На фиг. 4 изображён вид крепления фиксируемыми плоскими 13 краевыми частями ответных фиксирующих ложементов 14 посредством стягивающих болтов 27 и отгибных шайб 28.

Однако возможны и другие варианты взаимного крепления элементов краевых частей 11, причём приведенные ниже варианты (фиг. 6-11) направлены на предотвращение малейших сдвигов фиксируемых плоских 13 краевых частей относительно ответных фиксирующих ложементов 14 на поверхности исследуемой детали, чем определяется высокая точность измерения деформаций. С этой целью стыкуемым поверхностям фиксируемых плоских 13 краевых частей и фиксирующих ложементов 14 обеспечивается предварительная обработка и/или придание им определённой формы в поперечном сечении - L-, или V-, или W-, или П-образной формы, или другой многоступенчатой формы, или формы в виде ломаной кривой.

В частности, фиг. 6 демонстрирует вариант соединения фиксируемой плоской краевой части пластины и ответного фиксирующего ложемента, стыкуемая поверхность которого имеет L-образную форму;

На фиг. 7 показан вариант соединения фиксируемой плоской краевой части пластины и ответного фиксирующего ложемента, стыкуемая поверхность которого имеет П-образную форму.

Фиг. 8 отражает вариант соединения, на котором обе стыкуемые поверхности - плоской краевой части пластины и фиксирующего ложемента - выполнены в L-образной форме.

На фиг. 9 упомянутые стыкуемые поверхности выполнены в виде ломаной кривой.

Кроме обработки стыкуемых поверхностей могут применяться дополнительные крепёжные или фиксирующие элементы, такие как шпильки, вкладыши, болты с гайками и пр., - усиливающие сдвиговую надёжность соединения элементов краевой части пластины.

Например, на фиг. 10 показан вариант соединения фиксируемой плоской краевой части пластины и ответного фиксирующего ложемента, которое дополнительно фиксируется вкладышем 30.

На фиг. 11 - вариант соединения фиксируемой плоской краевой части пластины и ответного фиксирующего ложемента, которое дополнительно фиксируется шпилькой 31, которая может иметь прямоугольную, цилиндрическую или коническую форму, либо может быть заменена болтом, как на фиг. 4.

Таким образом, поставленная задача достигается тем, что датчик деформации содержит съёмный корпус, закрепленный на основании датчика, выполненного в виде плоской пластины, средняя часть которой выполнена дугообразной с крепежными отверстиями на плоских краях ее, а к дугообразной поверхности прикреплен тензорезисторный мост.

При проведении измерений деформаций съёмный корпус датчика деформации фиксируется на поверхности исследуемой детали основанием в виде пластины, краевые части которой выполнены большего сечения, чем её средняя дугообразная часть, и разделены по толщине в горизонтальной плоскости на два элемента, один из которых является собственно фиксируемой плоской частью пластины, а второй - ответным фиксирующим ложементам (Ложемент (фр. logement - помещение) - подложка, в виде вкладыша, или подставка для фиксации какой-либо продукции, либо заготовки. Он применяется для лишения заготовки нескольких степеней свободы. При этом съёмный корпус датчика деформации имеет пазы, которыми он прижимается к соответствующим по форме зонам перехода пластины от её дугообразной части к плоским краевым частям.

Предпочтительно переходы от дугообразной части 9 пластины к её краевым частям 11 выполнены в виде галтелей с радиусом 2-5мм.

Толщина краевых частей 11 пластины в 5-10 раз больше толщины дугообразной части 9 пластины.

Ширина краевых частей 11 пластины в 1,5-6 раз больше ширины дугообразной её части.

Поверхности стыкуемых плоскостей фиксируемой плоской 13 краевой части пластины и ответного фиксирующего ложемента 14 обрабатываются до достижения шероховатости не выше Ra 1,6-3,2 мкм. Фиксирующие ложементы 14 на поверхности исследуемой детали позиционируются с помощью кондуктора, в качестве которого используется окончательно обработанная пластина 3.

Затем установленные по кондуктору фиксирующие ложементы 14 привариваются к исследуемой детали с помощью дуговой сварки по контуру.

Шайбы 28, для болтов 27 с внешним шестигранником, выполнены отгибными.

Электрическая схема обработки сигнала содержит в качестве источника питания блок гальванических элементов повышенного температурного диапазона эксплуатации и срока службы.

Интерфейс электрической схемы обработки сигнала предпочтительно выполнен в виде модуля радиоканала.

Устройство измерения деформации работает следующим образом. На тензорезисторный мост 15, приклеенный на среднюю дугообразную часть 9 пластины 3, воспринимающей деформацию, подается напряжение питания от стабилизатора 23. Возникающая исследуемая деформация растяжения/сжатия от исследуемой детали 29 вызывает деформацию средней части 9 пластины 3, имеющей дугообразную форму, соответственно, происходит изменение сопротивления тензорезисторного моста 15, что приводит к изменению напряжения на выходе тензорезисторного моста. Величина изменения электрического сигнала на выходе тензорезисторного моста пропорциональна величине измеряемой деформации. Электри-

ческое напряжение с выхода тензорезисторного моста поступает на вход усилителя 16. Усиленное до необходимого уровня напряжение сигнала поступает на вход аналого-цифрового преобразователя (АЦП) - 17, который периодически преобразует аналоговый сигнал в цифровой вид и сохраняет результат преобразования в своем буферном регистре в цифровом виде (на фигурах не показан).

Результат преобразования из буферного регистра периодически считывается микроконтроллером 18. Одновременно на микроконтроллер 18 поступают значение температуры с датчика температуры 20 и уточняющие данные с акселерометра 21.

Микроконтроллер 18 вычисляет величину деформации с учетом поправок, вносимых на основании данных датчика температуры (корректировка с учётом величин температурных изменений исследуемого образца) и акселерометра (корректировка с учётом режима работы механизма, его ориентации относительно вектора силы тяжести).

Вычисленная величина деформации в виде цифрового форматированного сигнала передается на устройство пользователя (на фигурах не показано) через радиointерфейс 19.

С целью снижения помех в электрической схеме обработки сигнала произведено разделение источников питания для блоков, реализованных на аналоговых и цифровых электронных элементах. На тензорезисторный мост 15, усилитель 16, АЦП 17, которые выполняют функции аналоговых элементов, по цепям питания подается напряжение питания от источника напряжения - стабилизатора 23, а на цифровую часть электрической схемы обработки сигнала - датчик температуры 20, акселерометр 21 и микроконтроллер 18, напряжение питания подается от источника напряжения - стабилизатора 24. Оба стабилизатора получают питание от первичного источника напряжения 25, который сам получает питание от блока 26 гальванических элементов (внешнего источника питания) и питает радиointерфейс 17 и вторичные источники напряжения 23 и 24, что позволяет защитить всю электрическую схему обработки сигнала от помех, приходящих по интерфейсу и скачков напряжения внешнего источника.

Источники информации:

1. Патент US 8,987,615 B2, публ. от 24 марта 2015г.
2. Патент BY12262, публ. от 30.04.2020г.

#### ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Устройство измерения деформаций, включающее датчик деформации с тензорезисторным мостом и схему электрическую обработки сигнала, в котором датчик деформации помещён в съёмный корпус, фиксируемый на основании, выполненном в виде пластины с дугообразной средней частью, переходящей в плоские краевые части, содержащие крепежные отверстия, при этом пластина основания выполнена трёхзонной в соответствии с изменяющимся сечением пластины - от зоны наименьшего сечения в её дугообразной части через увеличивающееся сечение в зоне перехода до зоны наибольшего сечения на плоских краевых частях по отношению к сечению её дугообразной части, тензорезисторный мост закреплён на вогнутой поверхности дугообразной части пластины, а электрическая схема обработки сигнала содержит датчик температуры, схемотехнически связанный с управляющим микропроцессором, отличающееся тем, что съёмный корпус датчика деформации фиксируется основанием, при этом плоские краевые части разделены ортогонально направлению их фиксации через крепежные отверстия на два элемента, один из которых является фиксируемой плоской краевой частью пластины, а второй - ответным фиксирующим ложементом, а электрическая схема обработки сигнала дополнительно содержит акселерометр, схемотехнически связанный с управляющим микропроцессором.

2. Устройство по п.1, отличающееся тем, что съёмный корпус датчика деформации выполнен с пазами, форма которых соответствует форме пластины в зоне перехода от её дугообразной части к плоским краевым частям.

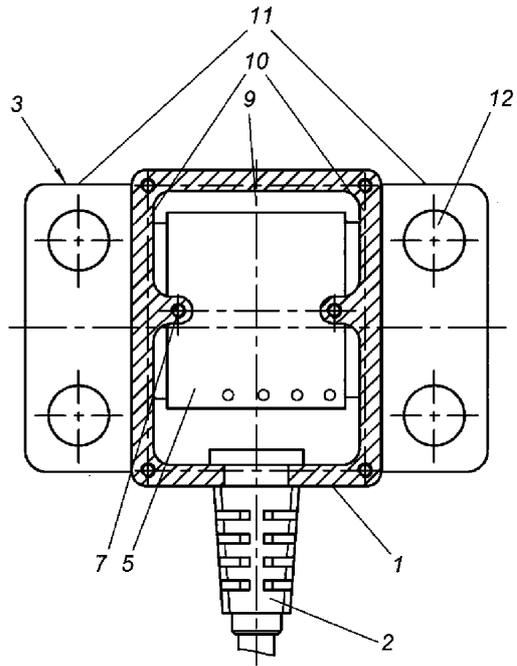
3. Устройство по п.1, отличающееся тем, что зона перехода от дугообразной части пластины к плоским краевым частям представляет собой галтель с радиусом от 2 до 5 мм.

4. Устройство по п.1, отличающееся тем, что толщина плоских краевых частей пластины от 5 до 10 раз больше толщины её дугообразной части.

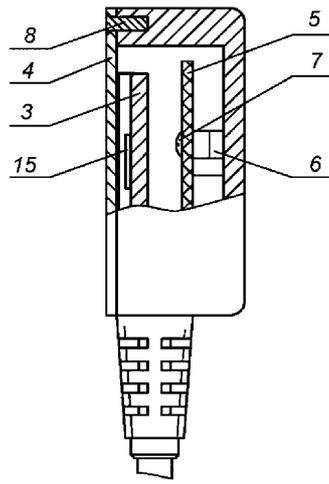
5. Устройство по п.1, отличающееся тем, что суммарная ширина плоских краевых частей пластины от 1,5 до 6 раз больше ширины её дугообразной части.

6. Устройство по п.1, отличающееся тем, что стыкуемые поверхности фиксируемой плоской краевой части пластины и ответного фиксирующего ложеamenta имеют шероховатость Ra в диапазоне от 1,6 до 3,2 мкм.

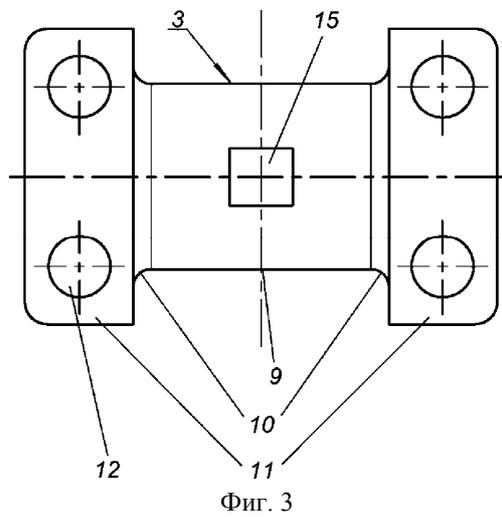
7. Устройство по п.1, отличающееся тем, что сечения соответствующих стыкуемых поверхностей фиксируемой плоской краевой части пластины и ответного фиксирующего ложеamenta имеют L-, или V-, или W-, или П-образную форму, или другую многоступенчатую форму, или форму в виде ломаной кривой.



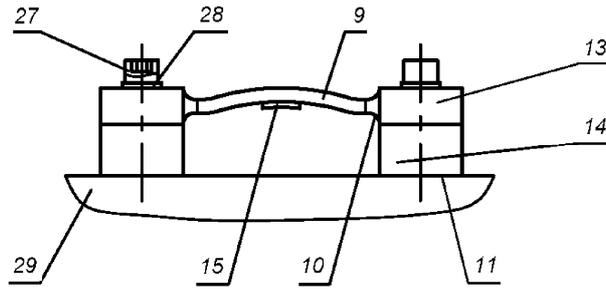
Фиг. 1



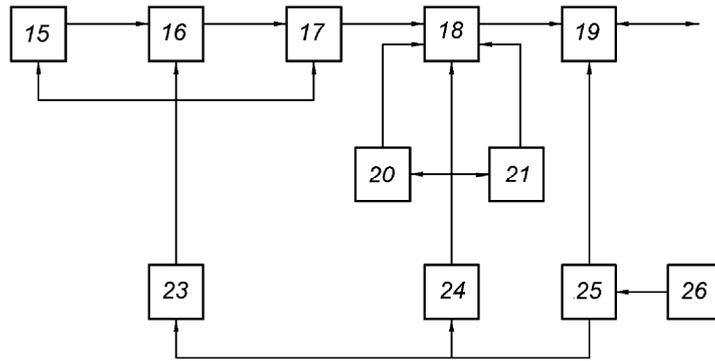
Фиг. 2



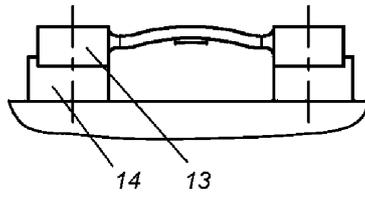
Фиг. 3



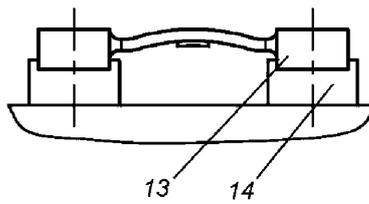
Фиг. 4



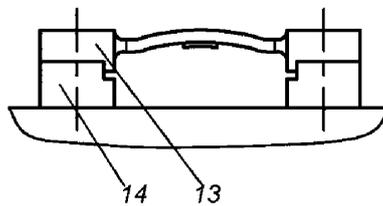
Фиг. 5



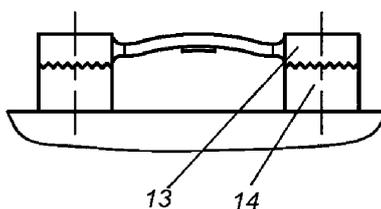
Фиг. 6



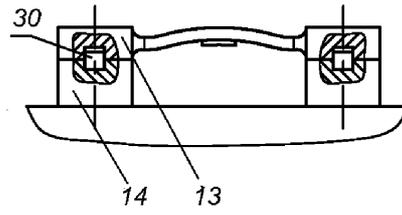
Фиг. 7



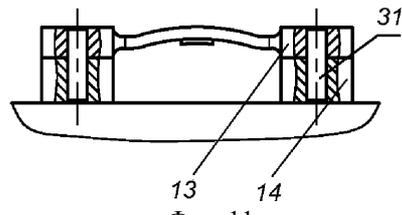
Фиг. 8



Фиг. 9



Фиг. 10



Фиг. 11

