



УКРАЇНА

(19) UA (11) 34492 (13) C2

(51) 7 G01F1/32

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІОПИС
ДО ПАТЕНТУ НА ВІНАХІД

(54) ВИХРОВИЙ ВИТРАТОМІР ДЛЯ ТЕКУЧОГО СЕРЕДОВИЩА

(21) 96093637

(22) 20.03.1995

(24) 15.03.2001

(31) 94/03407

(32) 23.03.1994

(33) FR

(86) PCT/FR95/00340, 20.03.1995

(46) 15.03.2001, Бюл. № 2, 2001 р.

(72) Зелінська Барбара (FR), Зікіку Суад (FR)

(73) ШЛЮМБЕРЖЕ ЕНДЮСТРІ С.А. (FR)

(56) EP-A-0 465 182, МПК G 01 F 7/00, G 01 F 1/68, опубл. 08.01.92г.

(57) 1. Вихревой расходомер для текучей среды, содержащий трубу, имеющую максимальный внутренний диаметр, для прохождения текучей среды, по меньшей мере, одно препятствие, расположенное в середине потока текучей среды и приспособленное для генерирования колебательных вихрей в текучей среде, причем препятствие имеет удлиненную общую форму с продольным размером и с поперечным размером, измеренным в направлении, перпендикулярном направлению потока текучей среды, средства для обнаружения сигнала, соответствующего колебаниям вихрей, и для определения на их основе объема текучей среды, при этом труба имеет внутренний профиль, который содержит от расположенного выше по ходу течения конца до расположенного ниже по ходу течения конца первый, участок, на котором максимальный внутренний диаметр трубы постепенно уменьшается до значения, равного продольному размеру препятствия, и который имеет внутреннюю стенку, расположенную под непрерывно изменяющимся углом к общему направлению потока текучей среды, причем угол имеет нулевое значение в тех местах в трубе, в которых диаметр первого участка соответственно равен максимальному внутреннему диаметру трубы и продольному размеру препятствия, второй участок трубы, в котором размещено препятствие, с постоянным диаметром, равным продольному размеру препятствия, и третий участок трубы, на котором происходит увеличение внутреннего диаметра трубы до его исходного значения, **отличающийся** тем, что третий участок трубы приспособлен для отделения граничного слоя потока текучей среды у расположенного ниже по ходу течения конца второго участка трубы и имеет острую кромку и находящуюся за ней внутреннюю стенку, которая

расположена под углом к направлению потока текучей среды.

2. Вихревой расходомер по п.1, **отличающийся** тем, что третий участок трубы имеет острую кромку у конца, расположенного выше по ходу течения и совпадающего с расположенным ниже по ходу течения концом второго участка трубы, и имеет находящуюся за острой кромкой по ходу течения внутреннюю стенку, которая расположена под постоянным углом, составляющим от 9° до 20° к направлению потока текучей среды.

3. Вихревой расходомер по п.2, **отличающийся** тем, что угол наклона внутренней стенки предпочтительно составляет от 10° до 15°.

4. Вихревой расходомер по п.1, **отличающийся** тем, что третий участок трубы имеет у своего конца, расположенного выше по ходу течения и совпадающего с расположенным ниже по ходу течения концом второго участка, выступ, имеющий наружный диаметр, равный диаметру второго участка трубы, и внутренний диаметр, меньший, чем диаметр второго участка трубы, а также внутренний край, образующий острую кромку.

5. Вихревой расходомер по п.4, **отличающийся** тем, что выступ имеет продольный размер, составляющий (D1-D2)/2 и находящийся в диапазоне от 2% до 5% диаметра второго участка трубы, где D1 - диаметр второго участка трубы, D2 - внутренний диаметр выступа.

6. Вихревой расходомер по п.4 или п.5, **отличающийся** тем, что в плоскости, содержащей ось симметрии трубы, выступ имеет местное поперечное сечение, которое является одинаковым и имеет треугольную форму, причем вершина треугольника образует местный внутренний край выступа.

7. Вихревой расходомер по любому из пп. 1-6, **отличающийся** тем, что внутренняя стенка первого участка трубы имеет местный внутренний профиль, который образован в плоскости, содержащей ось симметрии трубы, в направлении по ходу течения двумя последовательно расположенными дугами окружностей, которые своими вогнутыми сторонами обращены в противоположные стороны и соответствуют окружностям с радиусами, удовлетворяющими уравнению

$$r = (a^2 + v^2)/2v (\mu + 1),$$

где r - радиус меньшей окружности,
 R - радиус большей окружности,

(19) UA (11) 34492 (13) C2

$$v=(D-D_1)/2,$$

$$a = \sqrt{v [2 (R + r) - v]},$$

$$\mu=R/r.$$

8. Вихревой расходомер по любому из пунктов 1-7, **отличающийся** тем, что внутренняя стенка первого участка трубы имеет местный внутренний профиль, который образован в плоскости, содержащей ось симметрии трубы, частью синусоидальной кривой.

9. Вихревой расходомер по любому из пунктов 1-8, **отличающийся** тем, что диаметр второго участка трубы составляет от 60% до 90% значения исходного диаметра трубы.

10. Вихревой расходомер по п.9, **отличающийся** тем, что диаметр второго участка трубы предпочтительно составляет от 70% до 80% исходного диаметра трубы.

11. Вихревой расходомер по любому из пп. 1-10, **отличающийся** тем, что второй участок трубы имеет длину, которая превышает диаметр второго участка трубы в 1,5 - 3 раза.

12. Вихревой расходомер по любому из пп. 1-11, **отличающийся** тем, что отношение поперечного размера препятствия к диаметру второго участка трубы составляет от 0,15 до 0,30.

13. Вихревой расходомер по п.1, **отличающийся** тем, что препятствие имеет поверхность, расположенную выше по ходу течения, и поверхность, расположенную ниже по ходу течения, которые параллельны друг другу и перпендикулярны направлению потока текучей среды, и две симметричные боковые поверхности, причем поперечное сечение препятствия имеет форму трапеции, основание которой находится на стороне, расположенной выше по ходу течения.

14. Вихревой расходомер по п.1 и п. 13, **отличающийся** тем, что расположенная выше по ходу течения поверхность препятствия расположена на расстоянии от первого участка трубы, которое составляет от 0,5 до 1,0 диаметра второго участка трубы.

15. Вихревой расходомер по любому из пп. 1-14, **отличающийся** тем, что средства для обнаружения сигнала, соответствующего колебаниям вихрей, и для определения объема текучей среды на их основе присоединены к препятствию.

16. Вихревой расходомер по п. 15, **отличающийся** тем, что средства для обнаружения сигнала, соответствующего колебаниям вихрей, и для определения на их основе объема текучей среды содержат два параллельных основных продольных проходных отверстия, расположенных симметрично в препятствии рядом с боковыми поверхностями препятствия, и множество равномерно распределенных вспомогательных проходных отверстий, соединяющих основные проходные отверстия в

направлении, перпендикулярном к боковым поверхностям, и датчик, соединенный с основными проходными отверстиями и с электронной схемой, которая предназначена для определения объема текучей среды на основе детектированного сигнала.

17. Вихревой расходомер по любому из пунктов 1-14, **отличающийся** тем, что средства для обнаружения сигнала, соответствующего колебаниям вихрей, и для определения на их основе объема текучей среды содержат пластину, расположенную в середине потока текучей среды за препятствием по ходу течения и во втором участке трубы, причем пластина имеет продольный размер, равный диаметру второго участка трубы, измеренный в направлении, перпендикулярном направлению потока текучей среды, и прямоугольное поперечное сечение, образованное двумя боковыми поверхностями большего размера, параллельными направлению потока текучей среды, и двумя поверхностями меньшего размера, расположенными выше по ходу течения и ниже по ходу течения, два параллельных продольных основных проходных отверстия в пластине рядом с поверхностью, расположенной выше по ходу течения, причем каждое из основных проходных отверстий соединено только с одной из боковых поверхностей с помощью множества равномерно распределенных вспомогательных проходных отверстий, и датчик, соединенный с основными проходными отверстиями и с электронной схемой, которая предназначена для определения объема текучей среды на основе детектированного сигнала.

18. Вихревой расходомер по п. 17, **отличающийся** тем, что расположенная выше по ходу течения поверхность пластины имеет поперечный размер, составляющий от 0,1 до 0,4 от поперечного размера препятствия.

19. Вихревой расходомер по п. 13 и п. 17, **отличающийся** тем, что расположенная выше по ходу течения поверхность пластины находится на расстоянии от расположенной выше по ходу течения поверхности препятствия, которое составляет от 3 до 7 величин поперечного размера препятствия.

20. Вихревой расходомер по п. 17 и п. 19, **отличающийся** тем, что основные проходные отверстия имеют диаметр, который меньше поперечного размера расположенной выше по ходу течения поверхности пластины, а основные проходные отверстия смещены друг относительно друга в направлении потока текучей среды.

21. Вихревой расходомер по п. 16 или п. 17, **отличающийся** тем, что датчик представляет собой тепловой датчик.

22. Вихревой расходомер по п. 16 или п. 17, **отличающийся** тем, что датчик представляет собой датчик давления.

Настоящее изобретение относится к вихревому расходомеру для текучей среды, который включает, по меньшей мере, одно препятствие, приспособленное для генерирования колеблющихся вих-

рей текучей среды, и дает по существу постоянное число Струхала для низких чисел Рейнольдса.

Вихревые расходомеры или объемные счетчики широко известны и обычно содержат трубу,

вдоль которой течет текучая среда, объем и/или расход которой подлежат измерению. Препятствие размещают в потоке текучей среды внутри трубы таким образом, что когда поток текучей среды сталкивается с препятствием, образуются вихри текучей среды, которые в колебательном режиме отделяются от препятствия. Такой тип расходомеров также содержит средства для определения объема текучей среды из этих колебаний. Эти средства обычно находятся на препятствии. Принцип измерения объема текучей среды в данном типе расходомеров основан на том, что частота колебаний вихрей приблизительно пропорциональна скорости течения текучей среды в трубе, и вышеупомянутые средства обнаруживают сигнал, соответствующий колебаниям вихрей. Таким сигналом может быть, например, перепад давления.

Назначение вихревого расходомера для текучей среды состоит в том, чтобы обеспечивать точное и надежное измерение расхода или объема текучей среды, текущей по трубе, для широкого диапазона чисел Рейнольдса.

Для этого число Струхала (отношение произведения частоты колебаний и диаметра препятствия к скорости текучей среды) должно быть постоянным для различных чисел Рейнольдса (отношений произведения скорости течения текучей среды и диаметра трубы к динамической вязкости текучей среды).

Проведенные за последнее время исследования в данной области привели к разработке конструкций вихревых расходомеров для текучей среды, которые имеют оптимизированные формы и размеры препятствий и полностью удовлетворяют условиям работы при больших числах Рейнольдса, например, числах Рейнольдса порядка 260 000, при которых поток отличается высокой турбулентностью.

С другой стороны, при низких числах Рейнольдса, например, при числах Рейнольдса порядка 30 000, поток все больше становится ламинарным, что меняет характер вихрей. В результате градуировочная (калибровочная) кривая для таких расходомеров имеет нелинейный характер для низких чисел Рейнольдса.

В патенте Великобритании GB-A-2 142 725 описан вихревой расходомер для текучей среды, включающий трубку Вентури и препятствие у сопла трубки, приспособленное для генерирования колеблющихся вихрей, а также средства для обнаружения наличия вихрей за препятствием по ходу течения.

В этом расходомере происходит увеличение числа Рейнольдса на 30% у сопла трубки Вентури, но отклоняющийся участок трубки Вентури отходит под сравнительно небольшим углом, составляющим менее 8°, так что граничный слой потока текучей среды не отделяется от стенок отклоняющегося участка в целях вызова рециркуляции текучей среды, что могло бы привести к увеличению потери напора текучей среды.

При заданных диаметрах трубы, упомянутых в вышеуказанном патенте, очевидно, что увеличение потерь напора нежелательно.

Из-за конфигурации трубки давление текучей среды в отклоняющемся участке трубки постепенно изменяется, и вихри, которые отделяются

от препятствия, меняют форму, что приводит к изменению числа Струхала.

Расходомер, описанный в патенте Великобритании GB-A-2142725, имеет большую длину, что является недостатком в том случае, если расходомер предназначен для определенных условий эксплуатации, при которых основное требование к расходомеру заключается в том, что он должен быть компактным.

Из документов Великобритании № 4-2 066 463 (МКИ⁶ G01F 1/32, опубл. 23.01.85г.) и ФРГ DE-A-2 426 169 (МКИ⁶ G01F 1/32, опубл. 16.01.75г.) известен вихревой расходомер для текучей среды, содержащий имеющую обтекаемую форму трубу, внутри которой размещено препятствие, приспособленное для генерирования вихрей. Недостатком этих изобретений является неточность измерения скорости течения потока.

В качестве прототипа заявляемого изобретения принят вихревой расходомер для текучей среды, содержащий трубу, имеющую максимальный внутренний диаметр, для прохождения текучей среды, по меньшей мере, одно препятствие, расположенное в середине потока текучей среды и приспособленное для генерирования колебательных вихрей в текучей среде, причем препятствие имеет удлиненную общую форму с продольным размером и с поперечным размером, измеренным в направлении, перпендикулярном направлению потока текучей среды, средства для обнаружения сигнала, соответствующего колебаниям вихрей, и для определения на их основе объема текучей среды, при этом труба имеет внутренний профиль, который содержит от расположенного выше по ходу течения конца до расположенного ниже по ходу течения конца первый участок, на котором максимальный внутренний диаметр трубы постепенно уменьшается до значения, равного продольному размеру препятствия, и который имеет внутреннюю стенку, расположенную под непрерывно изменяющимся углом к общему направлению потока текучей среды, причем угол имеет нулевое значение в тех местах в трубе, в которых диаметр первого участка соответственно равен максимальному внутреннему диаметру трубы и продольному размеру препятствия, второй участок трубы, в котором размещено препятствие, с постоянным диаметром, равным продольному размеру препятствия, и третий участок трубы, на котором происходит увеличение внутреннего диаметра трубы до его исходного значения (EP-A-0 465 182, МКИ⁶ G01F 7/00, G01F 1/68, опубл. 08.01.92г.).

Недостатком известного изобретения является нелинейность калибровочной кривой, отражающей работу расходомера, особенно в случае измерения скорости течения ламинарного потока, характеризующегося низкими числами Рейнольдса. Причиной этого есть несовершенная конфигурация трубы, в которой вихри, отделяющиеся от препятствия, меняют форму, что в конечном итоге приводит к ухудшению рабочих характеристик расходомера и нелинейности калибровочной кривой.

В основу изобретения поставлена задача повышения точности показаний измерений скорости потока текучей среды для широкого диапазона чисел Рейнольдса вихревого расходомера путем

оптимизации конструктивного выполнения внутреннего профиля трубы, в частности, выполнения третьего участка ее внутренней стенки расширяющимся и оснащения его острой кромкой, что обеспечивает внезапное расширение потока текучей среды и отделение граничного слоя потока от границы второго участка трубы посредством кромки выступа и создание локального подъема давления, удерживающего, как барьер, вихри газа внутри второго участка с сохранением постоянства формы вихрей, а значит, и постоянства числа Струхала, и тем самым обеспечивает соответствие частоты колебаний потока скорости его течения.

Поставленная задача достигается за счет того, что в вихревом расходомере для текучей среды, содержащем трубу, имеющую максимальный внутренний диаметр, для прохождения текучей среды, по меньшей мере, одно препятствие, расположенное в середине потока текучей среды и приспособленное для генерирования колебательных вихрей в текучей среде, причем препятствие имеет удлиненную общую форму с продольным размером и с поперечным размером, измеренным в направлении, перпендикулярном направлению потока текучей среды, средства для обнаружения сигнала, соответствующего колебаниям вихрей, и для определения на их основе объема текучей среды, при этом труба имеет внутренний профиль, который содержит от расположенного выше по ходу течения конца до расположенного ниже по ходу течения конца первый участок, на котором максимальный внутренний диаметр трубы постепенно уменьшается до значения, равного продольному размеру препятствия, и который имеет внутреннюю стенку, расположенную под непрерывно изменяющимся углом к общему направлению потока текучей среды, причем угол имеет нулевое значение в тех местах в трубе, в которых диаметр первого участка соответственно равен максимальному внутреннему диаметру трубы и продольному размеру препятствия, второй участок трубы, в котором размещено препятствие, с постоянным диаметром, равным продольному размеру препятствия, и третий участок трубы, на котором происходит увеличение внутреннего диаметра трубы до его исходного значения, согласно изобретения, третий участок трубы приспособлен для отделения граничного слоя потока текучей среды у расположенного ниже по ходу течения конца второго участка трубы, и имеет острую кромку и находящуюся за ней внутреннюю стенку, которая расположена под углом к направлению потока текучей среды.

Кроме того, третий участок трубы имеет острую кромку у конца, расположенного выше по ходу течения и совпадающего с расположенным ниже по ходу течения концом второго участка трубы, и имеет находящуюся за острой кромкой по ходу течения внутреннюю стенку, которая расположена под постоянным углом, составляет от 9° до 20° к направлению потока текучей среды, предпочтительно от 10° до 15°.

Третий участок трубы имеет у своего конца, расположенного выше по ходу течения и совпадающего с расположенным ниже по ходу течения концом второго участка, выступ, имеющий наружный диаметр, равный диаметру второго участка

трубы, и внутренний диаметр, меньший, чем диаметр второго участка трубы, а также внутренний край, образующий острую кромку, причем выступ имеет продольный размер, составляющий $(D1-D2)/2$ и находящийся в диапазоне от 2% до 5% диаметра второго участка трубы, где $D1$ - диаметр второго участка трубы, $D2$ - внутренний диаметр выступа.

В плоскости, содержащей ось симметрии трубы, выступ имеет местное поперечное сечение, которое является одинаковым и имеет треугольную форму, причем вершина треугольника образует местный внутренний край выступа.

Внутренняя стенка первого участка трубы имеет местный внутренний профиль, который образован в плоскости, содержащей ось симметрии трубы, в направлении по ходу течения двумя последовательно расположенными дугами окружностей, которые своими вогнутыми сторонами обращены в противоположные стороны и соответствуют окружностям с радиусами, удовлетворяющими уравнению

$$r = (a^2 + v^2)/2v (\mu + 1),$$

где r - радиус меньшей окружности,
 R - радиус большей окружности,

$$R = (D - D1)/2,$$

$$a = \sqrt{v [2(R + r) - v]},$$

$$\mu = R/r.$$

Внутренняя стенка первого участка трубы может также иметь местный внутренний профиль, который образован в плоскости, содержащей ось симметрии трубы, частью синусоидальной кривой.

Диаметр второго участка трубы составляет от 60% до 90% значения исходного диаметра трубы, предпочтительно от 70% до 80% исходного диаметра трубы, кроме того, второй участок трубы имеет длину, которая превышает диаметр второго участка трубы в 1,5-3 раза, а отношение поперечного размера препятствия к диаметру второго участка трубы составляет от 0,15 до 0,30.

Препятствие имеет поверхность, расположенную выше по ходу течения, и поверхность, расположенную ниже по ходу течения, которые параллельны друг другу и перпендикулярны направлению потока текучей среды, и две симметричные боковые поверхности, причем поперечное сечение препятствия имеет форму трапеции, основание которой находится на стороне, расположенной выше по ходу течения, причем расположенная выше по ходу течения поверхность препятствия расположена на расстоянии от первого участка трубы, которое составляет от 0,5 до 1,0 диаметра второго участка трубы.

Средства для обнаружения сигнала, соответствующего колебаниям вихрей, и для определения объема текучей среды на их основе присоединены к препятствию и содержат два параллельных основных продольных проходных отверстия, расположенных симметрично в препятствии рядом с боковыми поверхностями препятствия, и множество равномерно распределенных вспо-

могательных проходных отверстий, соединяющих основные проходные отверстия в направлении, перпендикулярном к боковым поверхностям, и датчик, соединенный с основными проходными отверстиями и с электронной схемой, которая предназначена для определения объема текучей среды на основе детектированного сигнала.

Кроме того, упомянутые средства содержат пластину, расположенную в середине потока текучей среды за препятствием по ходу течения и во втором участке трубы, причем пластина имеет продольный размер, равный диаметру второго участка трубы, измеренный в направлении, перпендикулярном направлению потока текучей среды, и прямоугольное поперечное сечение, образованное двумя боковыми поверхностями большего размера, параллельными направлению потока текучей среды, и двумя поверхностями меньшего размера, расположенными выше по ходу течения и ниже по ходу течения, два параллельных продольных основных проходных отверстия в пластине рядом с поверхностью, расположенной выше по ходу течения, причем каждое из основных проходных отверстий соединено только с одной из боковых поверхностей с помощью множества равномерно распределенных равномерно, проходящих перпендикулярно вспомогательных проходных отверстий, и датчик, соединенный с основными проходными отверстиями и с электронной схемой, которая предназначена для определения объема текучей среды на основе детектированного сигнала.

При этом расположенная выше по ходу течения поверхность пластины имеет поперечный размер, составляющий от 0,1 до 0,4 от поперечного размера препятствия и находится на расстоянии от расположенной выше по ходу течения поверхности препятствия, которое составляет от 3 до 7 величин поперечного размера препятствия.

Основные проходные отверстия имеют диаметр, который меньше поперечного размера расположенной выше по ходу течения поверхности пластины, а основные проходные отверстия смещены друг относительно друга в направлении потока текучей среды.

Датчик вихревого расходомера представляет собой тепловой датчик либо датчик давления.

Согласно настоящему изобретению, предложен компактный вихревой расходомер для текучей среды, для которого число Струхала по существу постоянно при низких числах Рейнольдса для потока текучей среды и также по существу постоянно для высоких чисел Рейнольдса, тем самым рабочие характеристики расходомера улучшаются в широком диапазоне чисел Рейнольдса.

Заявитель обнаружил, причем совершенно неожиданно, что путем внезапного отделения граничного слоя потока текучей среды у расположенного ниже по ходу течения конца второго участка трубы, на этом конце получают подъем давления, и действие этого локального подъема давления приводит к ограничению вихрей, которые отделяются от препятствия на втором участке трубы, тем самым ограничивая их так, что их размер остается постоянным.

Для того, чтобы подъем давления происходил, особенно важно, чтобы граничный слой отделялся точно у расположенного ниже по ходу течения конца второго участка трубы.

Из этого следует, что при низких числах Рейнольдса для потока текучей среды частота колебаний вихрей прямо пропорциональна скорости течения текучей среды, а число Струхала, следовательно, по существу постоянно.

Таким образом, линейность расходомера существенно улучшена при низких числах Рейнольдса.

В идеальном случае первый участок трубы не должен иметь никаких острых кромок, чтобы предотвратить отделение граничного слоя потока текучей среды у входа в суженную часть, которое тем самым могло бы создать возмущения в потоке и, следовательно, в колебании вихрей текучей среды.

Различные формы внутреннего профиля первого участка трубы были испытаны и дали хорошие результаты.

Другие признаки и преимущества станут очевидными из нижеприведенного описания, которое приведено исключительно в качестве неограничивающего примера и со ссылкой на приложенные чертежи, в которых:

фиг.1 представляет собой схематичное изображение вихревого расходомера (газомера, или газового счетчика) по изобретению в сечении по плоскости, содержащей ось симметрии трубы,

фиг.2 представляет собой схематичное изображение расходомера, показанного на фиг.1, в сечении по плоскости, содержащей ось симметрии трубы и перпендикулярной плоскости сечения по фиг. 1,

фиг.3а-3с представляют собой частичные схематичные изображения различных вариантов исполнения стенки первого участка трубы расходомера по изобретению в сечении по плоскости, содержащей ось симметрии трубы,

фиг.3d показывает еще один вариант исполнения стенки первого участка трубы, которая показана на фиг.3а-3с,

фиг.4 представляет собой схематичное перспективное изображение препятствия вихревого расходомера (газомера), показанного на фиг.1 и 2,

фиг. 5 представляет собой схематичное изображение другого варианта исполнения вихревого расходомера по изобретению в сечении по плоскости, содержащей ось симметрии трубы,

фиг.6 представляет собой схематичное изображение расходомера, показанного на фиг.5, в сечении по плоскости, перпендикулярной к плоскости по фиг.5,

фиг.7 представляет собой схематичное перспективное изображение пластины вихревого газомера, показанного на фиг.5 и 6,

фиг.8 представляет собой изображение другого варианта исполнения третьего участка трубы вихревого газомера по изобретению в сечении по плоскости, перпендикулярной оси симметрии трубы,

фиг.9 представляет собой схематичное частично изображение третьего участка трубы, показанного на фиг.8, в сечении по плоскости, содержащей ось симметрии трубы,

фиг. 10 представляет собой график, показывающий калибровочные кривые соответственно вихревого газомера по изобретению (А) и вихревого газомера по предшествующему техническому уровню (В),

фиг. 11 представляет собой упрощенную принципиальную схему электронной схемы, предназначенной для определения объема газа на основе обнаруженного перепада давлений,

фиг. 12 показывает пиковый детектор, использованный в схеме по фиг. 11,

фиг. 13 показывает операцию пикового детектирования, выполняемую пиковым детектором по фиг. 12,

фиг. 14 показывает иллюстративный пример соответствующих сигналов на входе и выходе пикового детектора по фиг. 12.

Как показано на фиг.1, 2, 5 и 6, вихревой расходомер 1 для текущей среды по изобретению представляет собой газомер, пригодный для измерения объема газа при низких числах Рейнольдса, то есть при числах Рейнольдса ниже примерно 33 000, и даже таких низких, как 16 500. Такой тип газомера включает трубу 2, внутри которой течет газ, объем которого подлежит измерению. Как показано на фиг. 1, 2, 5 и 6, труба 2 имеет максимальный внутренний диаметр D и имеет внутренний профиль, содержащий в направлении по ходу течения три последовательно расположенных участка трубы, имеющих соответствующие различные технические характеристики.

На первом участке 3 происходит постепенное уменьшение внутреннего диаметра трубы 2 от максимального внутреннего диаметра D до значения D1 с помощью стенки 4 с фасонным профилем.

Эта стенка с фасонным профилем расположена под углом к общему направлению потока газа, причем этот угол непрерывно меняется от места пересечения стенки с трубой 2 в зоне ее максимального внутреннего диаметра D, где угол равен нулю, до места пересечения стенки со вторым участком трубы диаметром D1, где этот угол снова равен нулю.

Это является особенно рациональным, поскольку поток газа не сталкивается ни с какими острыми кромками, когда он входит в газомер, и таким образом не разрушается из-за образования турбулентности. Следовательно, поток ускоряется во втором участке трубы с диаметром D1, который создает режим для потока, который ближе к турбулентности при низких скоростях течения газа. Первый участок 3 трубы может иметь, например, стенку 4 с фасонным профилем, показанную на фиг.3а.

На этой фигуре показана часть первого участка 3 трубы в плоскости, содержащей ось симметрии трубы и, следовательно, параллельной направлению потока газа. Показано, что местный внутренний профиль образован в направлении по ходу течения двумя последовательно расположенными дугами окружностей, которые своими вогнутыми сторонами обращены в противоположные направления и сливаются в точке. Первая дуга окружности соответствует первой окружности с центром А и радиусом r и является касательной к трубе с диаметром D в точке С1 контакта. Вторая

дуга окружности соединяется с первой дугой окружности в точке С2 и является касательной ко второму участку 5 трубы с диаметром D1 в точке С3. Вторая дуга окружности соответствует второй окружности с центром В и радиусом R.

Условие пересечения двух дуг окружностей в точке С2 имеет вид

$$(r+R)^2=a^2+(R+c)^2 \quad (1)$$

и поскольку $c = r - v$, где $v = (D - D1)/2$,

$$a = \sqrt{v [2 (R + r) - v]}, \quad (2),$$

то путем возведения в квадрат выражения (2) получаем:

$$r = (a^2 + v^2)/2v (\mu + 1),$$

где $\mu = R/r$.

В зависимости от радиусов r и R окружностей для заданных диаметров D и D1 стенке первого участка 3 трубы может быть придан требуемый профиль.

Если диаметр D1 составляет 72% от D при $r = R$, то получают стенку 6 с фасонным профилем, показанную на фиг.3в, в то время как при $R = 1,75 r$ стенка 7 с фасонным профилем имеет вид, показанный на фиг.3с.

В варианте исполнения изобретения, показанном на фиг.3d, стенка 8 первого участка 3 трубы имеет в плоскости, содержащей ось симметрии трубы, локальный внутренний профиль в виде части синусоидальной кривой.

За первым участком трубы по ходу течения внутренний профиль трубы 2 образован вторым участком 5, упомянутым ранее, который имеет постоянный диаметр D1 по всей длине.

Диаметр D1 второго участка 5 трубы меньше исходного максимального внутреннего диаметра трубы и составляет от 60% до 90% исходного максимального внутреннего диаметра.

Если D1 меньше 60% от D, то потеря напора становится предельно допустимой, а частота колебаний становится слишком большой для измерения.

Если D1 больше 90% от D, поток газа недостаточно ускоряется.

Диаметр D1 предпочтительно составляет от 70% до 80% исходного диаметра D.

Например, диаметр D1 составляет 72% исходного диаметра D. Вихревой газомер 1 по изобретению содержит препятствие 9, расположенное во втором участке 5 трубы с диаметром D1. Препятствие 9 установлено в середине потока газа таким образом, что когда поток сталкивается с препятствием, образуются вихри газа, которые отделяются от препятствия в колебательном режиме.

Препятствие 9 показано на фиг.1, 2, 4, 5 и 6 и имеет удлиненную форму с продольным размером D1, представляющим собой высоту препятствия и измеренным в направлении, перпендикулярном направлению потока газа в трубе 2. Препятствие имеет поперечный размер d, представляющий

собой ширину препятствия, и имеет поперечное сечение, которое по существу одинаково во всех плоскостях, параллельных плоскости фиг.2, и может принимать различные формы.

Отношение $d/D1$ предпочтительно составляет от 0,15 до 0,3. Например, оно равно 0,23. Если $d/D1$ больше, чем 0,3, имеется тенденция уменьшения колебательного эффекта. Напротив, если $d/D1$ меньше, чем 0,15, отделение вихрей больше не будет когерентным вдоль всего продольного размера препятствия.

Как показано на ранее упомянутых фигурах, препятствие 9 имеет поверхность 10, расположенную выше по ходу течения, и поверхность 11, расположенную ниже по ходу течения, которые обе являются плоскими и параллельными друг другу, причем поверхность 10, расположенная выше по ходу течения, имеет больший размер, чем поверхность 11, расположенная ниже по ходу течения. Плоскости обеих этих поверхностей перпендикулярны направлению потока газа.

Препятствие 9 также имеет две симметричные боковые поверхности 12 и 13, лежащие под постоянным углом к поверхности 10, расположенной выше по ходу течения, так что поперечное сечение препятствия имеет форму трапеции с основанием, обращенным в сторону, находящуюся выше по ходу течения.

Препятствие 9 находится во втором участке 5 трубы рядом с первым участком 3 трубы, чтобы осталось достаточно места для образования вихрей на стороне препятствия, расположенной ниже по ходу течения; более точно, расположенная выше по ходу течения поверхность 10 препятствия 9 находится на расстоянии от первого участка 3 трубы, которое составляет от 0,5D1 до D1.

Если это расстояние меньше 0,5D1, профиль потока газа, достигающего препятствия, еще не успеет стабилизироваться.

Аналогичным образом, если это расстояние больше D1, профиль скоростей потока газа приводит к образованию граничного слоя, который может породить сильные вторичные вихри, разрушающие колебательные основные вихри, и, кроме того, газомер больше не будет таким компактным.

Например, расположенная выше по ходу течения поверхность 10 препятствия 9 находится на расстоянии от первого участка 3 трубы, которое равно 0,6D1.

Можно использовать несколько препятствий одинаковой или различной формы, расположенных одно за другим в направлении потока газа, вместо единичного препятствия.

Длина второго участка 5 трубы превышает диаметр D1 в 1,5-3 раза, чтобы газомер был компактным и в то же время оставалось достаточно места для образования вихрей.

Например, эта длина может составлять два диаметра D1. В соответствии с изобретением вихревой газомер 1 содержит средства для обнаружения сигнала, соответствующего колебаниям вихрей, образованных препятствием 9, и для определения на их основе объема газа. Специалисту в данной области известно, как выводить расход газа непосредственно из детектирования этого сигнала. Эти средства могут быть присоединены к препятствию 9, как показано на фиг.2-4.

Эти фигуры показывают, что средства для обнаружения сигнала, соответствующего колебаниям вихрей, и для определения на их основе объема газа содержат два параллельных основных проходных отверстия 14 и 15, проходящих в продольном направлении препятствия 9 рядом с его боковыми стенками 12 и 13. Эти проходные отверстия 14 и 15 симметричны относительно средней плоскости, содержащей ось симметрии трубы 2 и перпендикулярной к плоскости, которая содержит поперечное сечение препятствия 9. Вышеупомянутые средства также включают множество вспомогательных проходных отверстий, например, по три на основное проходное отверстие: 16, 17, 18 и 19, 20, 21, причем эти проходные отверстия равномерно распределены вдоль продольного размера основных проходных отверстий 14 и 15 перпендикулярно основным проходным отверстиям. Они соединяют основные проходные отверстия с поверхностями 12 и 13 препятствия 9. Диаметр вспомогательных проходных отверстий 16, 17, 19, 20 по существу равен диаметру основных проходных отверстий. Каждое основное проходное отверстие 14 и 15 связано, например, с тепловым датчиком (непоказанным), который обнаруживает перепад давлений между указанными основными проходными отверстиями благодаря отделению вихрей.

Вместо вышеуказанного датчика можно использовать датчик давления.

Фиг.11 представляет собой упрощенную блок-схему электронной схемы, которая после обнаружения перепада давлений датчиком 22 последовательно передает сигнал переменного тока к усилителю 23, и далее на вход пикового детектора 24, с помощью пикового детектора преобразует этот сигнал переменного тока в импульсный сигнал, в котором каждый импульс представляет единичный объем газа, и с помощью счетчика 25 подсчитывает число импульсов для получения объема газа.

Как показано на фиг. 12, пиковый детектор 24 включает, например, усилитель 26 с резистором 27 и конденсатором 28, пороговое устройство 29, включающее два диода 29,30, соединенные параллельно, причем один из диодов включен в прямом, а другой в обратном направлении, конденсатор 31, выполняющий функцию памяти, дифференциальный усилитель 32 и резисторы 33 и 34. Каждый диод 29 и 30 может представлять собой переход полевого транзистора.

Усилитель 26, резистор 27 и конденсатор 28 обеспечивают выделение сигнала на входе конденсатора 31. Каждый диод имеет свое собственное пороговое значение, и при пропускании через него тока он дает падение напряжения. Если амплитуда сигнала в точке 35 поднимается выше порогового значения диода 29, диод включается, и значение напряжения в точке 35, которое меньше падения напряжения на диоде 29, запоминается конденсатором 31. Дифференциальный усилитель 33 сравнивает напряжение в точке 35 с напряжением на конденсаторе 31 и выдает сигнал высокого уровня, если напряжение в точке 35 больше напряжения на конденсаторе 31.

Когда пик достигнут и амплитуда сигнала падает, разность между значением сигнала в точке

35 и значением сигнала, которое запоминается конденсатором 31, уменьшается до величины ниже порогового значения диода 29, и диод 29 выключается. Это фиксирует значение сигнала, хранящегося в конденсаторе 31. Когда амплитуда сигнала в точке 35 уменьшается до значения, которое ниже значения сигнала, хранящегося в конденсаторе 31, усилитель 32 подает сигнал низкого уровня, показывающий, что пик пройден. Когда значение сигнала снижается ниже значения сигнала, хранящегося в конденсаторе 31, на величину, соответствующую пороговому значению диода 30, диод 30 включается, и значение сигнала, хранящегося в конденсаторе 31, падает с величиной сигнала в точке 35, уменьшенной на падение напряжения на диоде 30. Когда отрицательный пик достигнут и пройден, диод 30 снова выключается, а усилитель 32 покажет изменение состояния, когда сигнал в точке 35 поднимется до значения, которое выше значения сигнала, хранящегося в конденсаторе 31.

На фиг. 13 показано изменение напряжения первого сигнала в точке 35 (кривая 36) и изменение напряжения на конденсаторе (кривая 37). Напряжение 37 на конденсаторе сначала равно напряжению сигнала 36 минус величина V_d , соответствующая падению напряжения на диоде 29, и усилитель 32 выдает сигнал высокого уровня. Когда достигнут пик в момент времени t_0 и напряжение сигнала 36 падает ниже порогового значения диода 29, напряжение 37 на конденсаторе фиксируется. В момент времени t_1 напряжение сигнала 36 падает ниже напряжения 37, зафиксированного на конденсаторе, и на выходе усилителя 32 происходит выдача сигнала низкого уровня. В момент времени t_2 разность между напряжением сигнала и напряжением на конденсаторе больше, чем пороговое значение диода 30, и напряжение на конденсаторе изменяется вслед за изменением напряжения первого сигнала.

На фиг. 14 показан выходной сигнал схемы по фиг. 12 в сравнении с типовым входным сигналом. Входной сигнал можно рассматривать как синусоидальный сигнал с высокой частотой, но с низкой амплитудой, который наложен на шум с высокой амплитудой, вызывающий большие колебания амплитуды сигнала. Несмотря на эти колебания, изменение направления входного сигнала на каждом положительном пике 38 или на каждом отрицательном пике 39 отмечено изменением направления выходного сигнала. Выходной сигнал может быть использован непосредственно счетчиком 25 для выдачи числа импульсов и, следовательно, объема газа. Зная интервал времени между двумя импульсами, также очень просто можно получить значение расхода газа.

В варианте исполнения изобретения, показанном на фиг. 5-7, средства для обнаружения сигнала, соответствующего колебаниям вихрей, и для определения на их основе объема газа расположены за препятствием 9 по ходу течения и включают пластинчатый элемент 40, находящийся во втором участке 5 трубы в середине потока газа. Пластина 40 имеет продольный размер D_1 , соответствующий ее высоте h и измеренный в направлении, перпендикулярном направлению потока газа. Пластина 40 имеет две параллельные поверх-

ности 41 и 42 большего размера, которые параллельны направлению потока газа и называются боковыми поверхностями пластины, и две параллельные поверхности 43 и 44 меньшего размера, которые перпендикулярны поверхностям большего размера и соответственно называются расположенной выше по ходу течения поверхностью 43 и расположенной ниже по ходу течения поверхностью 44 пластины. Расстояние между расположенной выше по ходу течения поверхностью 43 пластины 40 и расположенной выше по ходу течения поверхностью 10 препятствия 9 составляет от $3d$ до $7d$. Например, пластина 40 находится на расстоянии от расположенной выше по ходу течения поверхности 10, которое равно $4d$. Как показано на фиг. 5 и 7, поперечное сечение пластины 40 имеет форму прямоугольника. Такая форма пластины 40 является рациональной, поскольку она образует препятствие с острыми кромками, которые вызывают отделение потока газа, находящегося в контакте с расположенной выше по течению поверхностью 43, также называемой направляющей кромкой, что создает зону турбулентности, которая способствует ударам вихрей поочередно по боковым поверхностям 41 и 42, и это приводит к улучшению получаемого сигнала. Два параллельных проходных отверстия 45 и 46 проходят в продольном направлении через пластину 40 рядом с ее поверхностью 43, расположенной выше по ходу течения. Эти проходные отверстия 45 и 46 проходят в пластину 40 от ее верхней части на расстояние, которое меньше высоты h этой пластины. Множество вспомогательных проходных отверстий 47, 48, 49 и 50, 51, 52 равномерно распределены вдоль длины основных проходных отверстий 45 и 46, чтобы связать каждое из основных проходных отверстий в перпендикулярном направлении только с одной боковой поверхностью 41 или 42 пластины 40.

Например, каждое основное проходное отверстие 45 (46) соединено с одной боковой поверхностью 41 (42) пластины 40 тремя вспомогательными проходными отверстиями 47, 48, 49 (50, 51, 52), диаметр которых по существу равен диаметру основных проходных отверстий. Два основных проходных отверстия 45 и 46 связаны, например, с тепловым датчиком (непоказанным), который обнаруживает поток благодаря перепаду давлений, вызванному в проходных отверстиях за счет отделения вихрей. Поперечный размер поверхности 43, расположенной выше по ходу течения, составляет от $0,1 d$ до $0,4d$. Она равна, например, $0,25d$.

Диаметр основных проходных отверстий 45 и 46 немного меньше ширины пластины 40, и проходные отверстия смещены друг относительно друга в направлении потока газа и расположены как можно ближе к направляющей кромке пластины 40, чтобы получить оптимальную информацию из сигнала.

Этот вариант исполнения является предпочтительным, поскольку сигнал, полученный от пластины таким образом, будет иметь большую амплитуду, чем сигнал, полученный от препятствия.

Проходные отверстия также осуществляют фильтрацию всех шумов, сопровождающих сигнал, благодаря силам внутреннего трения, воз-

действующим на газ в проходных отверстиях, так что отношение сигнал-шум улучшается.

В другом варианте исполнения изобретения, не показанном на фигурах, средства для обнаружения сигнала, соответствующего колебаниям вихрей, и для определения на их основе объема газа включают два ультразвуковых преобразователя, которые расположены во втором участке 5 трубы за препятствием 9 по ходу течения и прикреплены к стенкам второго участка 5 трубы в диаметрально противоположных точках (необходимость в таком варианте исполнения для пластины, описанной выше, отсутствует). Один преобразователь выдает ультразвуковой сигнал, модулированный колебаниями вихрей, который снимается другим преобразователем и демодулируется, чтобы получить из него частоту колебаний и, следовательно, расход и объем газа.

В соответствии с изобретением вихревой газомер 1 также включает третий участок 53 трубы, который находится у расположенного ниже по ходу течения конца 54 второго участка 5 трубы, имеющего постоянный диаметр D_1 . На третьем участке 53 трубы происходит возврат внутреннего диаметра трубы 2 к его исходному значению D . Этот участок приспособлен для того, чтобы вызывать отделение граничного слоя потока газа у расположенного ниже по ходу течения конца 54 второго участка 5 трубы.

В отличие от округленного места пересечения первого и второго участков 3 и 5 трубы, здесь имеется острая кромка 55 у расположенного выше по ходу течения конца третьего участка 53, который совпадает с расположенным ниже по ходу течения концом 54 второго участка трубы (см. фиг. 1, 2, 5 и 6).

Третий участок 53 трубы имеет стенку 56, имеющую форму усеченного конуса и проходящую от острой кромки 55 до трубы с максимальным диаметром D под постоянным углом α к направлению потока газа. Угол α обычно составляет от 9 до 20°.

Угол α предпочтительно составляет от 10 до 15°. Он равен, например, 10° 78'.

Вследствие наличия внезапного расширения в трубе под заданным углом после прямолинейного участка 5 трубы, в котором образуются колебательные вихри, скорость газа уменьшается и его давление увеличивается. Заявитель установил, что этот признак изобретения вызывает разделение потока газа у острой кромки 55 и за острой кромкой 55 по ходу течения, и это приводит к образованию барьера из давления у выхода из второго участка 5 трубы. Функция этого барьера, образованного давлением, заключается в том, чтобы удерживать вихри газа внутри второго участка 5 трубы, так что размер вихрей остается таким же и число Струхала будет постоянным, особенно при низких значениях числа Рейнольдса для потока газа; в результате получается, что частота колебаний прямо пропорциональна скорости газа. Угол расширения третьего участка 53 трубы должен быть выбран тщательным образом, чтобы получить приемлемое давление. Угол расширения, больший, чем 20°, вызывает интенсивную рециркуляцию газа, и вызванное ею изменение скорости газа увеличивает его турбулентность и

не позволяет создать эффективный барьер из давления, который обеспечивает сохранение постоянного размера вихрей.

При угле расширения, меньшем, чем 9°, давление будет постепенно возрастать вдоль третьего участка 53 трубы и не будет достаточным для того, чтобы регулировать размер вихрей. В отличие от настоящего изобретения, в отклоняющемся участке трубок Вентури угол расширения непрерывно изменяется, и его локальное значение меньше 8°, что приводит к постепенному изменению давления и препятствует отделению граничного слоя газа; в результате имеют место большие потери напора.

В варианте исполнения изобретения, показанном на фиг.8 и 9, третий участок 53 трубы имеет выступ 57 у своего расположенного выше по ходу течения конца, который совпадает с расположенным ниже по ходу течения концом 54 второго участка трубы.

Выступ 57 закреплен на пересечении второго участка 5 трубы и третьего участка 53 трубы и имеет внутренний край 55, который имеет внутренний диаметр D_2 , меньший, чем D_1 , и образует острую кромку, причем наружный диаметр выступа равен D_1 .

Как показано на фиг.8, в плоскости, перпендикулярной направлению потока газа, выступ 57 имеет форму кольца. Чтобы острая кромка 58 выступа 57 могла вызвать отделение граничного слоя для создания локального подъема давления, который будет удерживать вихри газа внутри второго участка 5 трубы, продольный размер $(D_1 - D_2)/2$ выступа 57, или его высота должен составлять от 2% до 5% диаметра D_1 второго участка 5. Если этот размер меньше 2% диаметра D_1 , зона, в которой граничный слой отделяется, очень мала, чтобы создать эффективный подъем давления у расположенного ниже по ходу течения конца 54 второго участка 5 трубы. С другой стороны, если этот размер превышает 5% диаметра D_1 , зона отделения будет очень большой, и это приведет к образованию зоны неустойчивого повышения давления, что нарушает повторяемость сигнала. В плоскости, содержащей ось симметрии трубы, выступ 57 имеет местное поперечное сечение, которое имеет, например, форму треугольника, вершина которого образует внутренний край 58 выступа в этой плоскости, как показано на фиг.9, форма верхнего местного поперечного сечения выступа 57 представляет собой треугольник с вершиной внизу. Форма нижнего местного поперечного сечения выступа 57 (не показанного на фиг.9) симметрична относительно оси симметрии трубы.

В этом варианте исполнения изобретения внутренняя стенка 59 третьего участка 53 трубы необязательно расположена под постоянным углом к направлению потока газа.

Преимуществом вихревого расходомера для текучей среды по изобретению также является то, что он компактен и при этом он имеет меньшую длину, чем расходомеры по предшествующему техническому уровню.

Чтобы показать, что вихревой расходомер по настоящему изобретению лучше расходомеров по предшествующему техническому уровню, зая-

витель провел испытания, результаты которых показаны на фиг. 10.

Эти испытания были проведены последовательно с двумя вихревыми газомерами, причем первым испытывали газомер по предшествующему техническому уровню, который имеет прямую трубу для потока газа с диаметром 100 мм и препятствие с трапецевидным поперечным сечением, предназначенное для образования вихрей, и имеет средства для обнаружения сигнала, соответствующего колебанию вихрей, и для определения на их основе объема газа. Препятствие и средства, упомянутые ранее, были аналогичны тем, которые описаны выше при рассмотрении фиг. 1, 2 и 4.

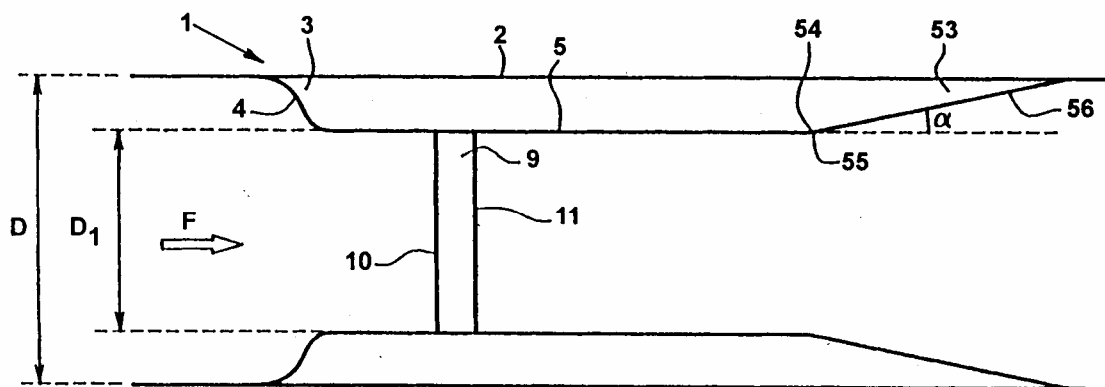
Второй газомер, то есть газомер по изобретению, показан на фиг. 1, 2 и 4.

Испытания состояли в том, что записывали относительную погрешность при определении

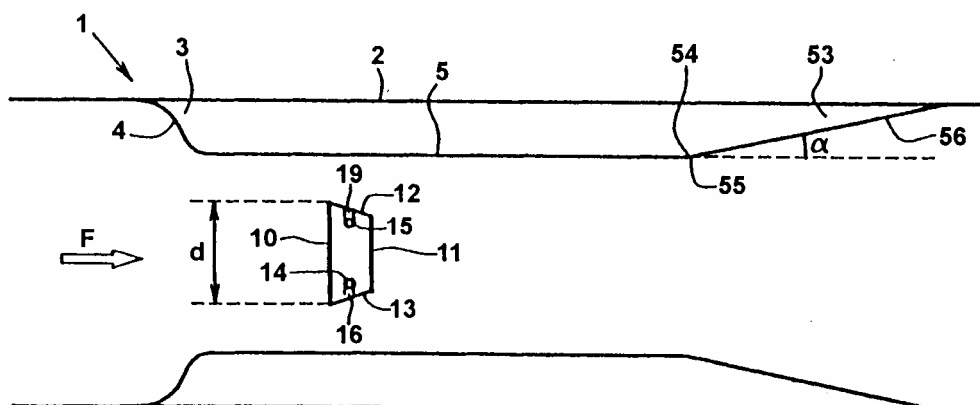
объема газа, текущего через каждый из газометров, относительно калибровочного расходомера при значениях расхода от 50 м³/ч до 450 м³/ч, соответствующих числам Рейнольдса от 9 300 до 84 000.

На фиг. 10 для каждого расходомера показана относительная погрешность, выраженная в процентах, в виде функции числа Рейнольдса, и получаемые кривые А и В представляют собой соответственно калибровочные кривые для газомера по изобретению и для газомера по предшествующему техническому уровню. Таким образом, эти кривые ясно демонстрируют то, что газомер по изобретению имеет существенно улучшенную линейность при низких числах Рейнольдса.

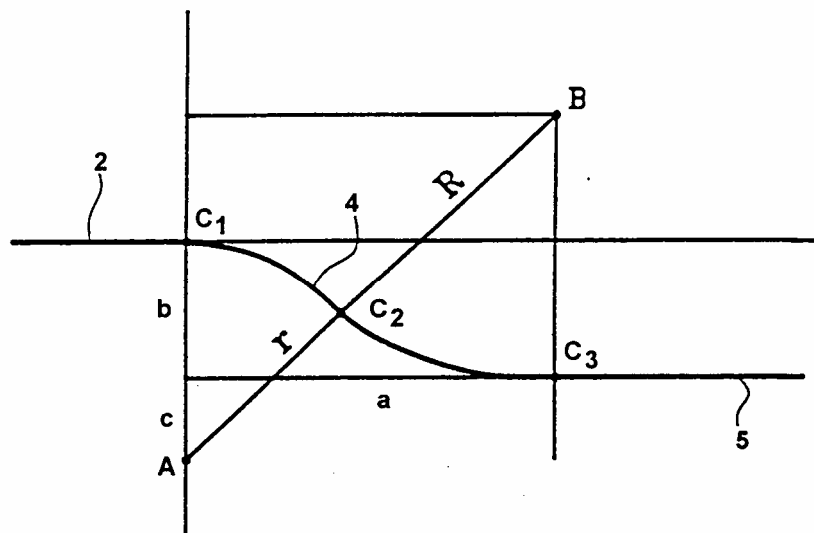
Газометры по настоящему изобретению показывают хорошую линейность при низких числах Рейнольдса, которые ниже 33 000 и имеют значения до 16 500.



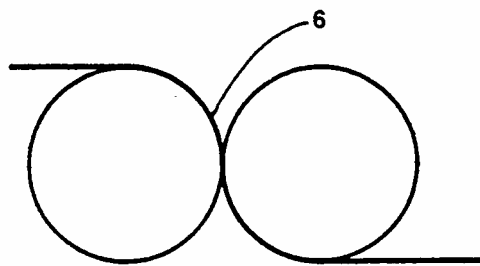
Фиг. 1



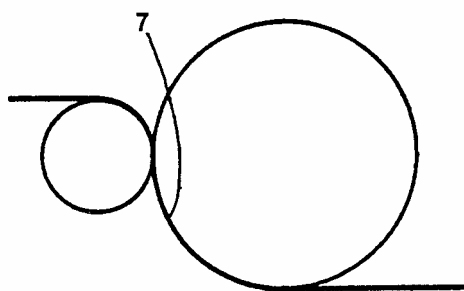
Фиг. 2



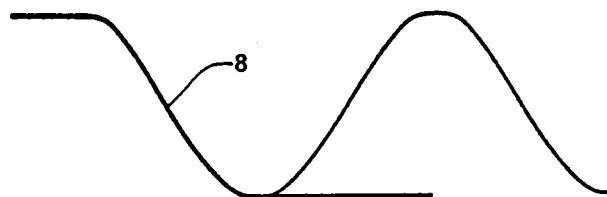
Фиг. 3а



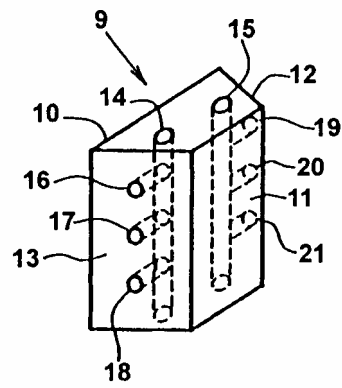
Фиг. 3b



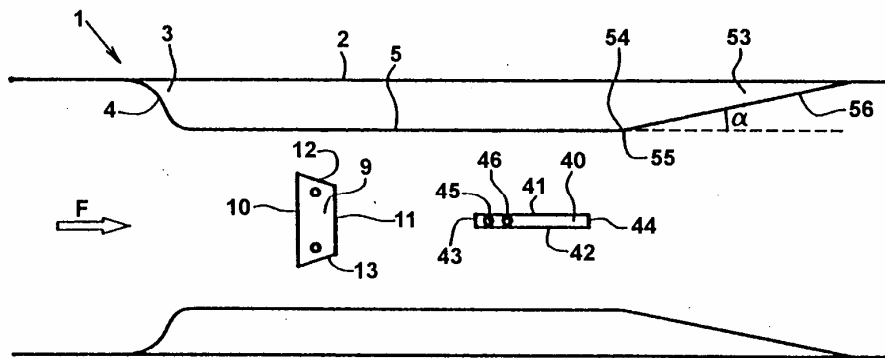
Фиг. 3с



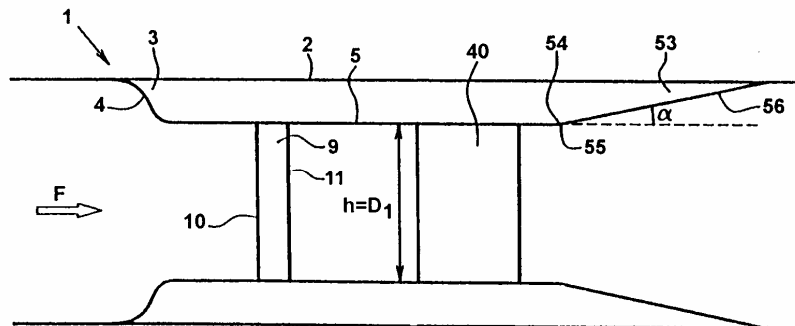
Фиг. 3d



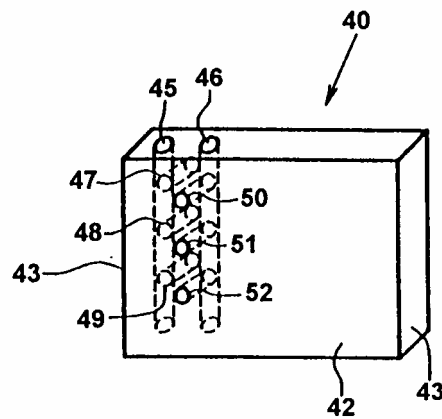
Фиг. 4



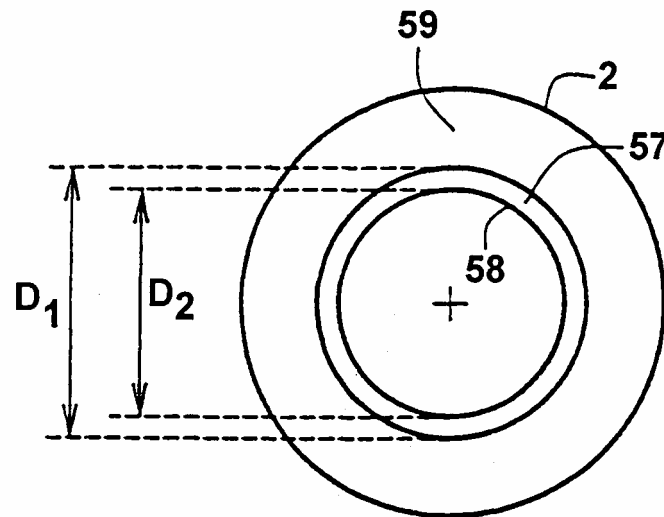
Фиг. 5



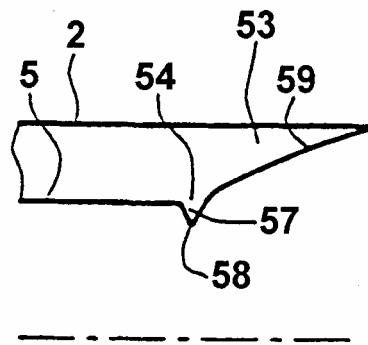
Фиг. 6



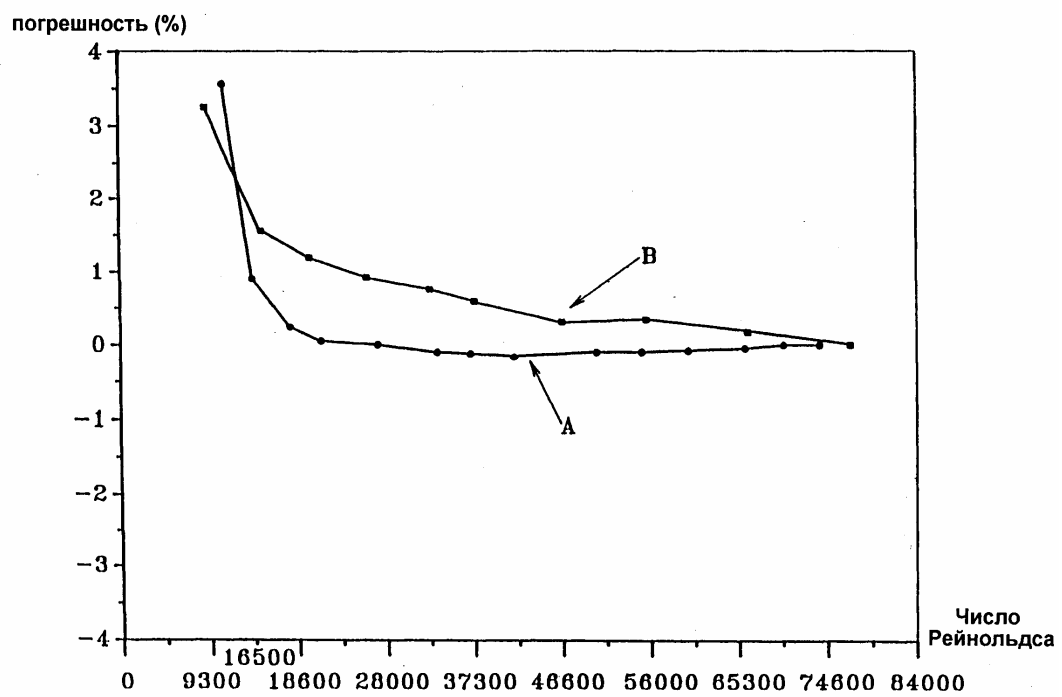
Фиг. 7



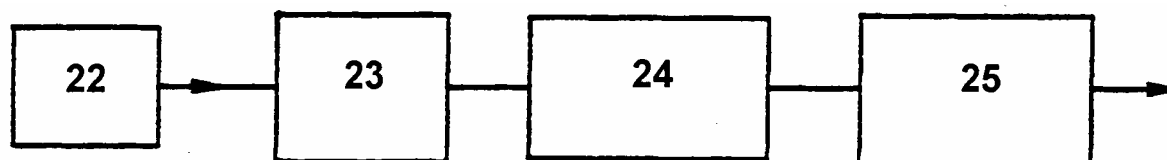
Фиг. 8



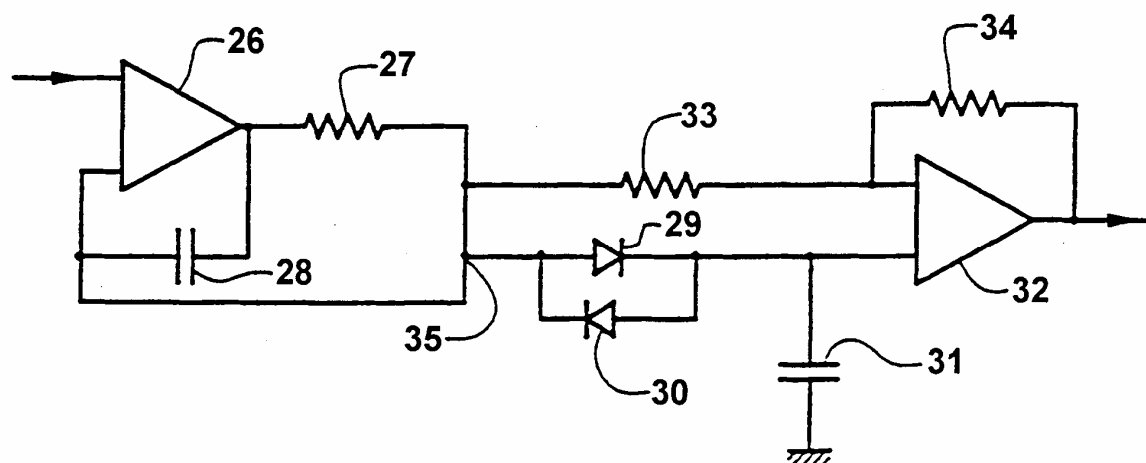
Фиг. 9



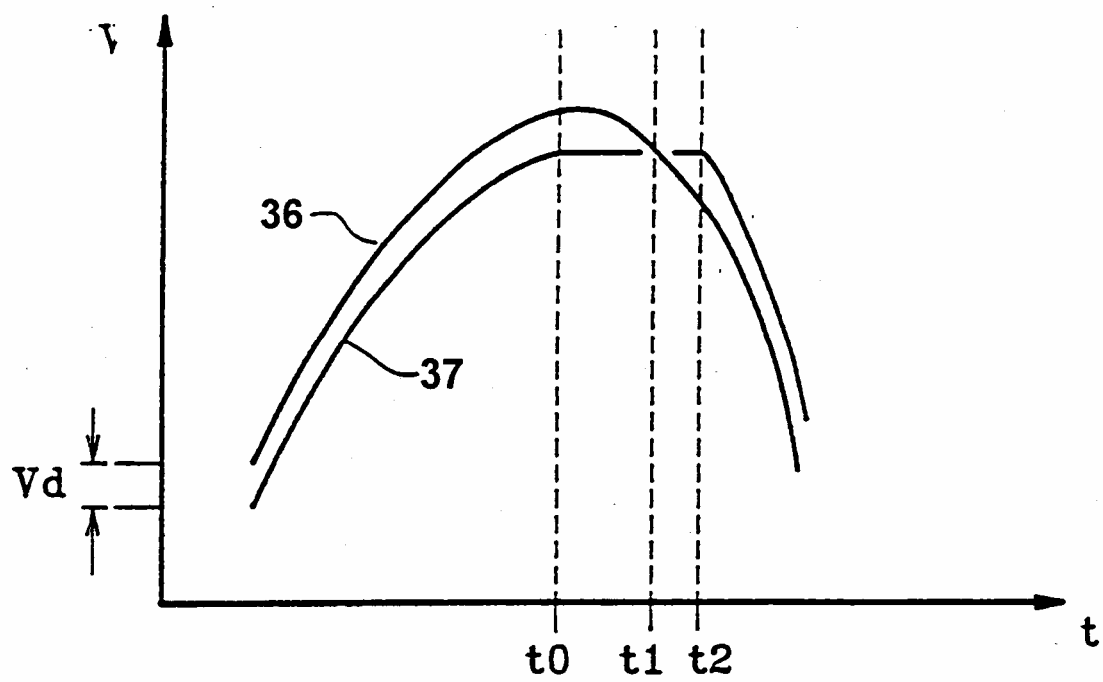
Фиг. 10



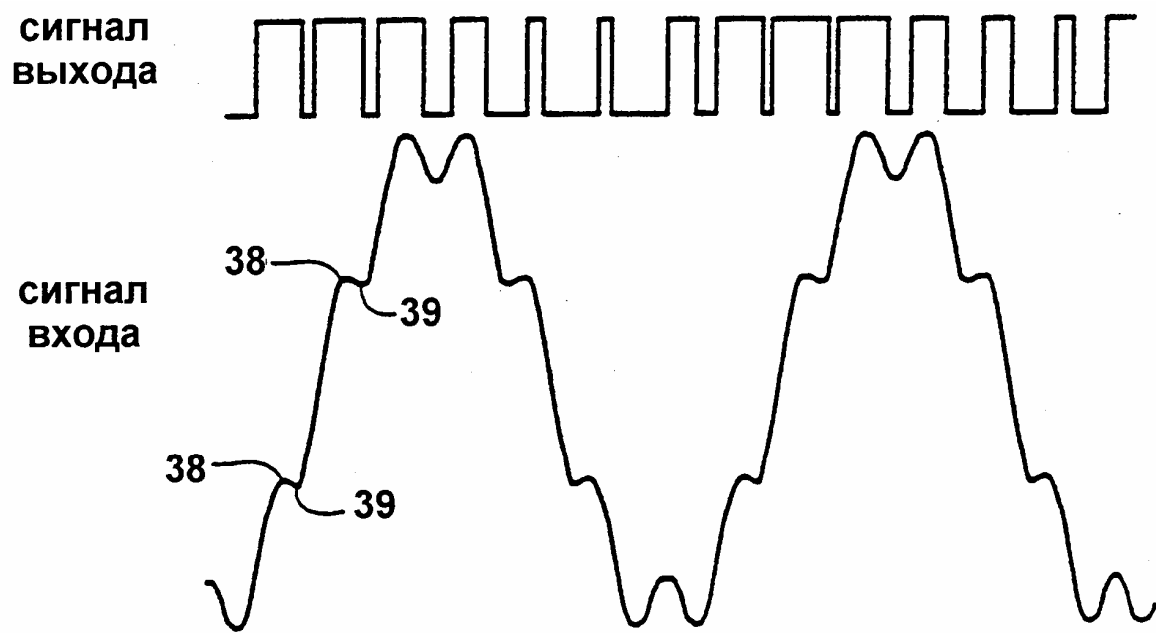
Фиг. 11



Фиг. 12



Фиг. 13



Фиг. 14

Тираж 50 экз.

Відкрите акціонерне товариство «Патент»
Україна, 88000, м. Ужгород, вул. Гагаріна, 101
(03122) 3 – 72 – 89 (03122) 2 – 57 – 03
