

Изобретение относится к области измерительной техники и может быть использовано для измерений расхода и количества газообразных или жидких сред.

Известны способы и системы измерения расхода в линиях подачи текучей среды (1).

Наиболее близким к предлагаемому способу является способ измерения расхода текучей среды (2), при котором с помощью расходомера измеряют расход текучей среды от нижней до верхней границы диапазона измерения применяемого расходомера, а для измерения расхода текучей среды при значениях меньше нижней границы диапазона используют клапан, приспособленный для периодического прекращения поступления текучей среды в линию до тех пор, пока не возрастет перепад давления между входом и выходом клапана при расходе ниже измеримого порогового значения, или для пропуска текучей среды в линию до тех пор, пока перепад давления не опустится ниже заданного порогового значения закрытия клапана.

Наиболее близкой по используемым функциональным элементам к предлагаемому изобретению является система (2) для реализации вышеописанного способа. Такая система содержит расходомер для измерения расхода текучей среды, имеющий минимально измеримое значение потока, клапан, имеющий вход и выход и возможность выполнять смещение между открытым положением для измерения потребленного расхода, который выше минимально измеримого значения, и положением пульсирования, при котором клапан приспособлен или для периодического прекращения поступления текучей среды в линию подачи до тех пор, пока не возрастет перепад давления между входом и выходом клапана при расходе потока, который ниже минимально измеримого значения, или для пропуска текучей среды в линию подачи до тех пор, пока перепад давления не опустится ниже заданного порогового значения закрытия клапана.

Недостаток данного способа и системы заключен в том, что точность измерения расхода низкая и определяется точностью используемого расходомера. Применение накопительного пространства и клапана в данной конструкции не повышает точности измерений, так как общая погрешность расходомера в пульсирующем режиме увеличивается из-за динамической погрешности.

Задачей данного изобретения является повышение точности измерения расхода, расширение диапазона измерения, упрощение и удешевление системы измерения расхода.

Поставленная задача решается способом измерения расхода в линии подачи текучей среды, когда в линии создают накопительное пространство, где придают пульсирующий характер потоку текучей среды. Согласно изобретению в качестве накопительного пространства используют участок линии подачи текучей среды, ограниченный двумя клапанами, параметрами клапанов задают характер пульсаций потока текучей среды, фиксируют пульсации и рассчитывают расход в соответствии с количеством пульсаций, имевшим место за время измерения расхода текучей среды.

Для реализации задачи могут быть использованы два варианта системы измерения расхода в линии подачи текучей среды.

В первом варианте система включает накопительное пространство и клапан, и, в соответствии с изобретением, дополнительно снабжена вторым клапаном и устройством измерения количества переключений одного из клапанов за время измерения расхода текучей среды, а накопительное пространство, используемое в качестве измерительного объема, формируется двумя клапанами.

В качестве измерительного объема используется часть линии подачи текучей среды, возможен вариант с дополнительным расширением. При измерении расхода жидкости накопительное пространство состоит из объема, заполненного жидкостью, и пульсирующего измерительного объема, заполненного газом. Объемы могут быть разделены подвижной мембраной.

Оба клапана, формирующие накопительное пространство, работают в противофазе таким образом, чтобы исключить сквозной переток текучей среды через измерительный объем.

Измерительный объем - это объем, в любой точке которого обеспечивается одинаковый перепад давления в процессе пульсации потока текучей среды. Пульсация расхода обеспечивается клапанами с гистерезисной характеристикой, имеющими стабильные пороги открывания и запираания потока. При запираании потока клапаном давление в измерительном объеме падает за счет перетекания текучей среды через открытый дополнительный клапан. При отпирании потока клапаном дополнительный клапан запирается, и давление в измерительном объеме поднимается до прежнего уровня. Объем линии подачи после дополнительного клапана сглаживает пульсации на выходе линии подачи. Для этой же цели может быть использован регулятор. Функцию регулирования и сглаживания пульсаций может выполнять и дополнительный клапан, если использовать в качестве дополнительного клапана с пропорциональной или дискретно-регулируемой характеристикой пропускной способности. Такой регулятор будет перекрывать поток, когда необходимо поднять давление в измерительном объеме, и стабилизировать давление после себя, когда среда вытекает из накопительного объема через дополнительный клапан.

Предлагаемый способ реализует прямой метод измерения объемного расхода, измерительный объем замеряется предварительно с высокой точностью, перепад давления, определяющий пульсации, также измеряется с высокой точностью. Кроме этого, перепад может поддерживаться постоянным.

Верхняя граница диапазона измерения определяется только возможным значением измерительного объема, который может быть достаточно большим. Нижняя граница диапазона измерения определяется

только утечкой клапанов, которая может быть измерена и скомпенсирована при расчетах.

И как результат - повышение точности измерения расхода, расширение диапазона измерения, упрощение и удешевление устройства измерения расхода.

Во втором варианте система для реализации способа, включающая накопительное пространство и клапан, согласно изобретению дополнительно снабжена устройством измерения интервала времени, за которое происходит пульсация потока текущей среды в накопительном пространстве, а накопительное пространство используется в качестве измерительного объема, который формируется клапаном, с одной стороны, и регулятором давления в линии, с другой стороны.

В качестве измерительного объема может быть использована часть линии подачи текущей среды, а в качестве регулятора - регулятор понижающего давления, механический или электронный.

Регулятор на выходе измерительного объема стабилизирует расход и сглаживает пульсации на выходе линии подачи.

Изобретение поясняется фиг. 1, 2, 3 и 4. На фиг. 1 схематично представлено расположение конструктивных элементов первого варианта системы. На фиг. 2 представлен график изменения давления в измерительном объеме при работе первого варианта системы измерения. На фиг. 3 схематично представлено расположение конструктивных элементов второго варианта системы. На фиг. 4 представлен график изменения давления в измерительном объеме при работе второго варианта системы измерения.

Способ измерения расхода в линии подачи текущей среды реализуется с помощью системы содержащей линию 1 (см. фиг. 1) подачи текущей среды, внутри которой установлены клапаны 2 и 3. Участок подачи текущей среды, ограниченный клапанами 2 и 3, образует измерительный объем 4, который снабжен устройством 5 измерения параметров пульсаций текущей среды. В качестве такого измерителя могут быть использован датчик давления с двумя релейными выходами, соответствующими двум заданным значениям давления.

На практике, линия 1 (например, трубопровод) разделена на участки I, II, III, в каждом из которых поддерживается давление  $P_{cp}$ ,  $P$ ,  $P_n$ . Когда расход на выходе трубопровода отсутствует, клапан 2 закрыт, клапан 3 открыт. При появлении расхода в момент  $t_1$  (см. фиг. 2) давление в измерительном объеме 4 постепенно падает от  $P_1$  до  $P_2$ . В момент  $t_2$  клапан 3 закрывается и клапан 2 открывается, позволяя среде из участка I перетекать в участок II, поднимая в нем давление. При достижении давления  $P_1$  в момент  $t_3$  клапан 2 запирается, клапан 3 отпирается и давление в измерительном объеме опять начинает падать. Устройство 5 контролирует перепад давления  $\Delta P = P_1 - P_2$  и управляют работой клапанов 2 и 3, предварительно определив такие параметры системы как

$V$  - объем накопительного пространства;

$\delta P = \frac{\Delta P}{P}$  - относительное изменение давления в накопительном объеме;

$\Delta P$  - изменение давления в накопительном объеме за время перекрытия потока клапаном 2;

$P$  - абсолютное давление, по отношению к которому определяется расход. Рассчитывают протекающий объем среды по формуле:

$$V_{\Sigma} = \sum_{i=1}^N V_i . \quad (1)$$

где  $V_i = V \cdot \delta P_i$  - объем текущей среды, прошедшей через накопительное пространство за  $i$ -ю пульсацию.

В конкретной реализации клапан 2 и 3 могут быть как электрические, управляемые давлением  $P_1$  и  $P_2$  в накопительном объеме, так и синхронные механические, управляемые перепадами давления на них.

Текущий расход среды  $Q_i$  определяется по формуле

$$Q_i = \frac{V \Delta P}{t_i P} , \quad (2)$$

где  $t_i$  - период  $i$ -й пульсации.

Если в качестве давления  $P$  в формуле (2) используется абсолютное давление в накопительном объеме в момент закрытия клапана 2, получим значение расхода при рабочих условиях. Если для расчета используется значение стандартного давления  $P_{ст.} = 0,101325$  МПа, получим значение расхода, приведенного к стандартному давлению.

При измерении расхода жидкости для расчета в формуле (2) используется рабочее давление газа в измерительном объеме.

Таким образом, патентуемый способ и система его реализации позволяет сразу получать значения расхода, приведенные к стандартному давлению, без измерения текущего абсолютного давления.

Так, при

заданном перепаде давления  $\Delta P$ , равном  $P_{ст.} = 0,101325$  МПа;

диаметре трубопровода  $D_u = 100$  мм;

измерительном объеме  $V = 0,1$  м<sup>3</sup>, что составляет длину отрезка трубопровода, используемого как накопительное пространство  $L = 12,74$  м., получим цену одной пульсации равной  $0,1$  м<sup>3</sup> при стандартном

давлении.

Установив клапан 2 на расстоянии 12,74 м от дополнительного клапана 3 или введя дополнительный объем между клапанами, получим необходимый измерительный объем. Точное значение измерительного объема при измерении расхода газа можно определить с помощью дополнительного эталонного объема  $V_{эт.}$  следующим образом:

блокируют вход и выход измерительного объема и устанавливают в нем атмосферное давление. Заполняют эталонный объем воздухом с избыточным давлением  $P_1$ . Замеряют с высокой точностью  $P_1$  и затем подсоединяют эталонный объем к измерительному. Замеряют установившиеся значения избыточного давления  $P_2$  в суммарном объеме  $(V+V_{эт.})$  и вычисляют значение измерительного объема  $V$  по формуле

$$V = V_{эт.} \left( \frac{P_1 * K_{сжат.2}}{P_2 * K_{сжат.1}} - 1 \right) \quad (3)$$

где  $K_{сжат.1}$ ,  $K_{сжат.2}$  - коэффициент сжатия воздуха при избыточном давлении  $P_1$  и  $P_2$ .

Измеренное значение  $V$  применяется для вычисления расхода в течение всего межповерочного интервала.

Перепад давления в измерительном объеме  $\Delta P$  измеряется с помощью преобразователя давления, фиксирующего максимум и минимум пульсации давления в каждом периоде пульсации. Вычисление разности максимального и минимального значения пульсации давления, измеренного одним и тем же преобразователем, позволяет скомпенсировать аддитивную погрешность измерения и существенно снижает требование к точности преобразователя давления.

Период пульсации потока  $t$  измеряется измерителем интервала, в качестве которого может быть использовано любое стандартное устройство, предназначенное для измерения интервала времени. Подставляя полученные значения  $V$ ,  $\Delta P$ ,  $t$  в выражение для расхода  $Q$

$$Q = \frac{V \Delta P}{t P}, \quad (4)$$

получим значение расхода при рабочих условиях, если в качестве давления  $P$  используется абсолютное давление в накопительном объеме в момент закрытия клапана 2, или значение расхода, приведенного к стандартному давлению, если для расчета используется значение стандартного давления  $P_{ст.} = 0,101325$  МПа.

Создав условия, при которых разность изменения давления  $\Delta P$  в процессе пульсации будет постоянна с заданной погрешностью, из процесса измерения расхода, приведенного к стандартным условиям, исключим измерение давления.

При фиксированном перепаде давления в измерительном объеме может быть скорректирована погрешность, вызванная утечкой среды через закрытый клапан 2. Заблокировав выход измерительного объема, измеряют время  $t_{ут.}$ , за которое давление в измерительном объеме за счет утечки через клапан изменится также, как и при пульсации в рабочем режиме.

Определяют  $Q_{ут.}$  по формуле:

$$Q_{ym.} = \frac{V \Delta P}{t_{ym.} P} \quad (5)$$

и рассчитывают скорректированное значение расхода по формуле

$$Q = \frac{V}{t} \delta P + Q_{ym.} \quad (6)$$

Значение объема среды  $V_i$ , прошедшее за период пульсации  $t_i$ , рассчитывается по формуле

$$V_i = V * \delta P_i + Q_{ут.} * t_i \quad (7)$$

Накопленный объем за  $N$  пульсаций равен сумме объемов каждой пульсации:

$$V_{\Sigma} = \sum_{i=1}^N V_i \quad (8)$$

Если

$$Q_{ут.} \sim 0 \text{ и } \frac{\Delta P}{P_{cm}} = const,$$

то формула (8) упростится

$$V_{\Sigma} = N * V_o \quad (9)$$

где

$$V_o = V * \frac{\Delta P}{P_{cm}} = const.,$$

N - число пульсаций, подсчитанное за время измерения.

По второму варианту изобретения, в качестве накопительного пространства используют участок линии подачи текущей среды, ограниченный клапаном, с одной стороны, и регулятором давления в линии, с другой стороны, параметрами клапана задают характер пульсаций потока текущей среды, фиксируют пульсации и рассчитывают расход по формуле

$$Q = \frac{V}{t} \cdot \delta P \quad (10)$$

где

Q - измеренный расход текущей среды;

V - объем накопительного пространства;

t - интервал времени, в течение которого клапан перекрывает поток;

$$\delta P = \frac{\Delta P}{P} -$$

относительное изменение давления в накопительном объеме;

$\Delta P$  - изменение давления в накопительном объеме за время перекрытия потока;

P - абсолютное давление, по отношению к которому определяется расход.

При расчете расхода по предложенной выше формуле реализуется прямой метод измерения объемного расхода, измерительный объем замеряется предварительно с высокой точностью, время и перепад давления пульсации, также измеряются с высокой точностью. Кроме этого, перепад может поддерживаться постоянным.

Верхняя граница диапазона измерения определяется только возможным значением измерительного объема, который может быть достаточно большим. Нижняя граница диапазона измерения определяется только утечкой клапана, которая может быть измерена и скомпенсирована при расчетах.

И как результат - повышение точности измерения расхода, расширение диапазона измерения, упрощение и удешевление устройства измерения расхода.

Способ измерения расхода в линии подачи текущей среды реализуется с помощью второго варианта системы содержащей линию 1 (см. фиг. 3) подачи текущей среды, внутри которой установлен клапан 2 и регулятор 3 давления в линии. Участок подачи текущей среды, ограниченный клапаном 2, с одной стороны, и регулятором давления 3, с другой стороны, образует измерительный объем 4, который снабжен устройством 5 измерения параметров пульсаций текущей среды. В качестве такого измерителя могут быть использованы частотомер, измеряющий интервал и период времени, и датчик давления.

На практике линия 1 (например, трубопровод) разделена на участки I, II, III, в каждом из которых поддерживается свое давление  $P_{cp}$ , P,  $P_n$ . Когда расход на выходе трубопровода отсутствует, клапан 2 закрыт. При появлении расхода в момент  $t_1$  (см. фиг. 4) давление в измерительном объеме 4 постепенно падает от  $P_1$  до  $P_2$ . В момент  $t_2$  клапан открывается, позволяя среде из участка I перетекать в участок II, поднимая в нем давление. При достижении давления  $P_1$  в момент  $t_3$  клапан запирается и давление в измерительном объеме опять начинает падать. Устройство 5 измеряют, интервал времени, в течение которого клапан перекрывает поток и, предварительно определив такие параметры системы как:

V - объем накопительного пространства;

$$\delta P = \frac{\Delta P}{P} -$$

относительное изменение давления в накопительном объеме;

$\Delta P$  - изменение давления в накопительном объеме за время перекрытия потока;

P - абсолютное давление, по отношению к которому определяется расход.

Рассчитывают расход текущей среды по формуле (10).

В конкретной реализации клапан 2 может быть как электрический, управляемый давлением, так и механический, скачком открывающийся при достижении разности давления на клапане выше порога открытия и скачком запирающий поток при снижении перепада давления на клапане ниже порога запираения. Так, при

- абсолютном давлении газа в трубопроводе  $P_{абс} = 0,4$  МПа
- максимальном расходе при рабочих условиях  $Q_{max} = 100$  м<sup>3</sup>/час
  - или = 27,8 л/сек
- минимальном расходе при рабочих условиях  $Q_{min} = 1$  м<sup>3</sup>/час
  - или = 0,278 л/сек
- диаметре трубопровода  $Dу = 100$  мм
- измерительном объеме не менее  $V = 0,5$  м<sup>3</sup>, что составляет длину отрезка трубопровода, используемого как накопительное пространство  $L = 63,7$  м., и заданном перепаде давления  $\Delta P = 0,05$  МПа, определим из выражения (10) минимальное время перекрытия потока.

$$t_{min} = \frac{500 \text{ л} * 0,125}{27,8 \text{ л / сек}} = 2,25 \text{ сек} \quad (11)$$

Соответственно, максимальное время перекрытия потока при минимальном расходе 1 м<sup>3</sup>/ч будет равно  $t_{max} = 225$  с.

Значение объема может быть измерено, как это указано выше (формула 3).

Измеренное значение  $V$  применяется для вычисления расхода в течение всего межповоротного интервала.

Перепад давления в измерительном объеме  $\Delta P$  измеряется с помощью преобразователя давления, фиксирующего максимум и минимум пульсации давления в каждом периоде пульсации. Вычисление разности максимального и минимального значения пульсации давления, измеренного одним и тем же преобразователем, позволяет скомпенсировать аддитивную погрешность измерения и существенно снижает требование к точности преобразователя давления.

Интервал времени  $t$ , в течении которого клапан перекрывает поток, измеряется измерителем интервала, в качестве которого может быть использовано любое стандартное устройство, предназначенное для измерения интервала времени. По сигналам фиксации максимума и минимума пульсации или по моментам срабатывания клапана измеряется интервал перекрытия клапаном потока  $t$  и период пульсации  $t_p$ .

Подставляя полученные значения  $V$ ,  $\Delta P$ ,  $t$  в выражение для расхода  $Q$

$$Q = \frac{V \Delta P}{t P}, \quad (12)$$

получим значение расхода при рабочих условиях, если в качестве давления  $P$  используется абсолютное давление в накопительном объеме в момент закрытия клапана, или значение расхода, приведенного к стандартному давлению, если для расчета используется значение стандартного давления  $P_{ст.} = 0,101325$  МПа.

Таким образом, патентуемые способ и система его реализации позволяет сразу получать значения расхода, приведенное к стандартному давлению, без измерения текущего абсолютного давления.

Создав с помощью клапана условия, при которых разность измерения давления  $\Delta P$  в процессе пульсации будет либо постоянна с заданной погрешностью, либо описываться известной функцией от расхода, например  $\Delta P = \Delta P_0 + KQ$ , где  $K$  - постоянный коэффициент, из процесса измерения расхода, приведенного к стандартным условиям, исключим измерение давления.

При фиксированном перепаде давления в измерительном объеме может быть скорректирована погрешность, вызванная утечкой среды через закрытый клапан. Заблокировав выход измерительного объема, измеряют время  $t_{ут.}$  за которое давление в измерительном объеме за счет утечки через клапан изменится также, как и при пульсации в рабочем режиме.

Определяют  $Q_{ум.}$  по формуле:

$$Q_{ум.} = \frac{V \Delta P}{t_{ум.} P} \quad (14)$$

и рассчитывают скорректированное значение расхода по формуле

$$Q = \frac{V}{t} \delta P + Q_{ум.} \quad (15)$$

Так как пульсация давления  $\Delta P$  существенно меньше абсолютного давления в измерительном объеме и носит периодический характер, то средний расход за время роста давления  $+\Delta P$  равен среднему расходу за время уменьшения давления  $-\Delta P$  и значение объема среды  $V_i$ , прошедшее за период пульсации  $t_i$ , рассчитывается по формуле:

$$V_i = \left( \frac{V}{t} \delta P + Q_{ym.} \right) t_i \quad (16)$$

Накопленный объем за N пульсаций равен сумме объемов каждой пульсации:

$$V_{\Sigma} = \sum_{i=1}^N V_i \quad (17)$$

Если

$$Q_{yt.} \sim 0 \text{ и } \frac{\Delta P}{P_{cm}} = const,$$

то формула (16) упростится

$$V_i = V_o C_i \quad \text{и} \quad V_{\Sigma} = V_o \sum_{i=1}^N C_i \quad (18)$$

где

$$V_o = V * \frac{\Delta P}{P_{cm}} = const, \quad C_i = \frac{t_i}{t}.$$

текущая скважность пульсаций.

Библиография:

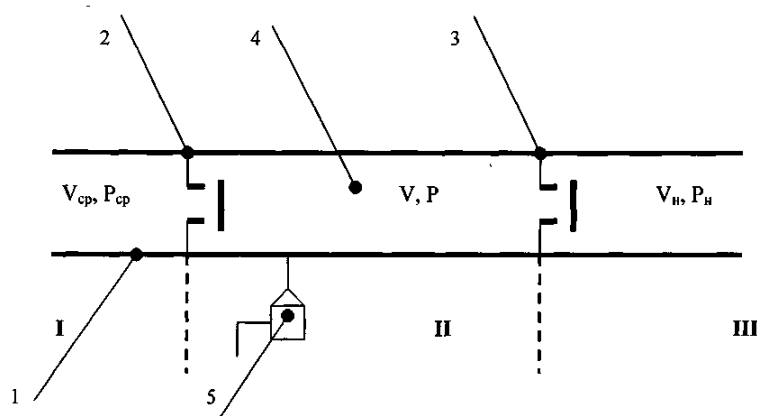
1. Кремлевский П.П., «Расходомеры и счетчики количества веществ», справочник, книга I, II, С-П, «Политехника», 2002.
2. WO 2004/025229 A1, 2004.03.25

#### ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

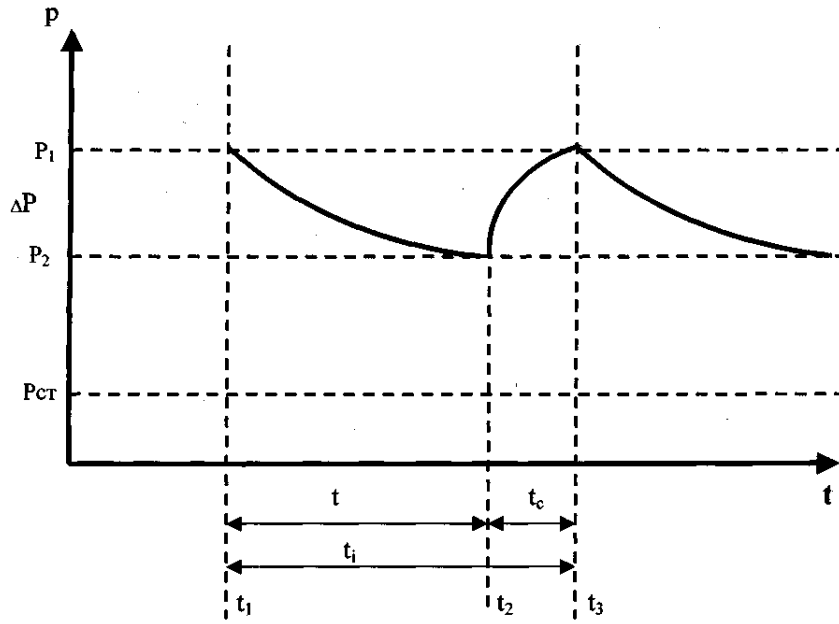
1. Способ измерения расхода в линии подачи текучей среды, заключающийся в том, что в линии создают накопительный объем, в котором потоку текучей среды придают пульсирующий характер, отличающийся тем, что накопительный объем создают установкой в линии двух клапанов и используют его в качестве измерительного объема, при помощи клапанов задают характер пульсаций потока текучей среды, фиксируют пульсации и рассчитывают расход в соответствии с количеством пульсаций, имевших место за время измерения расхода текучей среды.

2. Система для реализации способа по п.1, включающая накопительный объем и клапан, отличающаяся тем, что дополнительно снабжена вторым клапаном, который вместе с первым образует накопительный объем, используемый в качестве измерительного объема, и устройством измерения переключений одного из клапанов за период измерения расхода текучей среды.

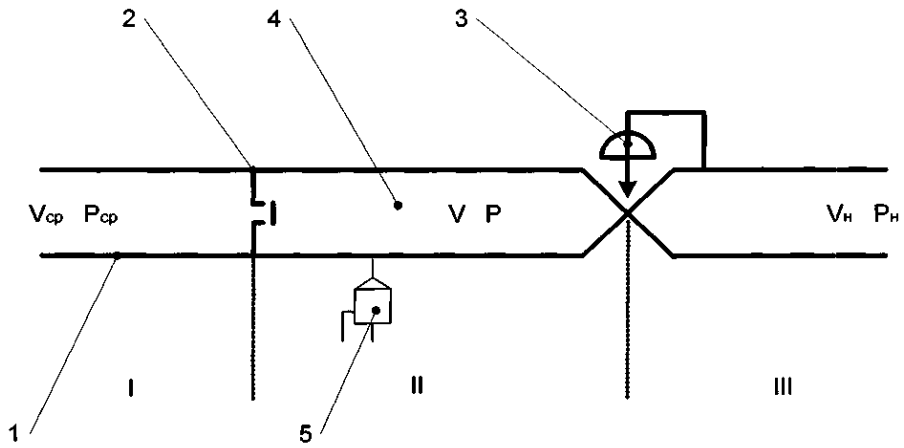
3. Система для реализации способа по п.1, включающая накопительный объем и клапан, отличающаяся тем, что дополнительно снабжена регулятором давления в линии, который вместе с клапаном образует накопительный объем, используемый в качестве измерительного объема, и устройством измерения интервала времени, за которое происходит пульсация потока текучей среды в измерительном объеме.



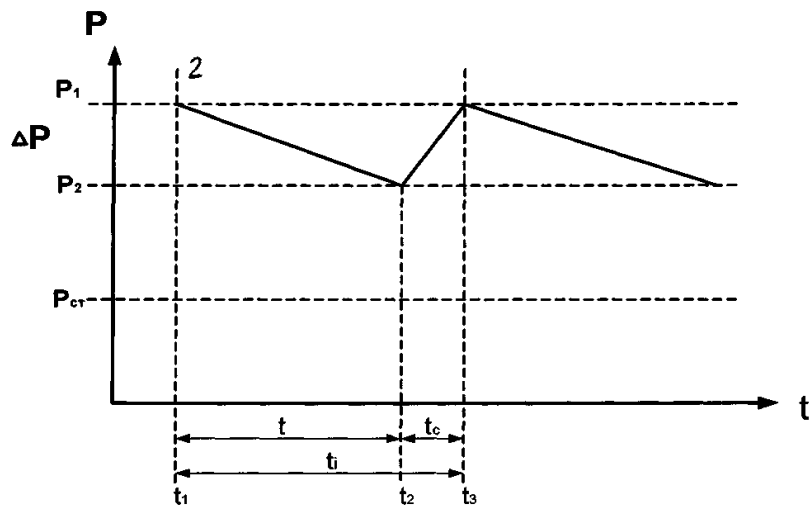
Фиг. 1



Фиг. 2



Фиг. 3



Фиг. 4