

Изобретение относится к области измерительной техники и предназначено для измерения расхода термических жидкостей.

Известен способ измерения скорости текучей среды, в котором излучают тепловой поток помещенными в поток текучей среды на расстоянии по потоку двумя рабочими термодатчиками, измеряют разность температур рабочих термодатчиков и вычисляют скорость потока по измеренному изменению разности температур и величине потребляемой термодатчиками мощности.

Наиболее близким устройством для измерения скорости текучей среды является устройство, содержащее рабочие термодатчики, установленные в потоке и связанные источником электрического тока и измерители температуры и мощности термодатчиков. Причем устройство содержит два термодатчика, расположенных на расстоянии друг от друга по потоку. Питание подается на оба термодатчика, в результате температура первого по потоку термодатчика уменьшится, а второго увеличится. Разности температур является функцией скорости текучей среды.

Недостаток такого устройства состоит в том, что с увеличением расхода сопротивления между датчиками увеличивается с увеличением расхода до критической величины, а после этого уменьшается с увеличением расхода, т.е. возникает нелинейность, которая сказывается на точности измерения.

В основу изобретения положена задача создания такого способа измерения скорости текучей среды и устройство для его реализации, в которых путем изменения направления излучаемого теплового потока, его модуляцией (например, изменением мощности), и соответствующим расположением термодатчиков обеспечивается повышение эффективности (возможность настройки на различные типы жидкостей) и точности измерения.

Поставленная задача решена тем, что в способе измерения скорости текучей среды, включающем излучение теплового потока термодатчиком, помещенным в поток измеряемой среды, при пропускании через него электрического тока, измерение увеличения температуры термодатчика относительно температуры текучей среды и вычисление скорости потока по измеренному увеличению температуры и потребляемой термодатчиком мощности, тепловой поток излучают в направлении, перпендикулярном направлению текучей среды, к теплоотводу, размещенному в потоке на расстоянии, обеспечивающем перенос к нему теплового потока и его модуляцию текучей средой, причем, пространство между теплоотводом и термодатчиком свободно от препятствий, а также тем, что тепловой поток дополнительно излучают в направлении по второму теплоотводу, причем, первый и второй теплоотводы равноудалены от излучающих поверхностей термодатчика в разные стороны.

Кроме того, дополнительно излучают тепловой поток в направлении, перпендикулярном направлению потока, опорным термодатчиком, размещенным в потоке и подключенным к источнику электрического тока, мощность которого меньше мощности, подаваемой на рабочий термодатчик, причем, тепловой поток излучают в направлении второго и третьего теплоотводов, измеряют температуру опорного термодатчика, а при вычислении скорости текучей среды учитывают разность температур рабочего и опорного термодатчиков при этом, второй теплоотвод располагают между рабочим и опорным термодатчиками, а третий теплоотвод располагают симметрично второму относительно опорного термодатчика.

Благодаря этим отличиям модуляция теплового потока текучей средой носит линейный характер и позволяет простым подбором зазора между термодатчиком и теплоотводом настраиваться на любой тип текучей жидкости и диапазон скоростей, что обеспечивает повышенную эффективность и точность измерения.

Поставленная задача решена также тем, что устройство для измерения скорости текучей среды, содержащее рабочий термодатчик установленный в потоке и связанный с источником электрического тока, измерители температуры и мощности, связанные с вычислительным устройством, снабжено опорным термодатчиком, установленным в потоке и связанным с соответствующим источником электрического тока, и тремя теплоотводами, один из которых установлен между термодатчиками, а два других по разные стороны от них, а также измерителем температуры опорного термодатчика и измерителем разности температур рабочего и опорного термодатчиков, каждый теплоотвод расположен на равном расстоянии от соответствующего термодатчика в направлении, перпендикулярном направлению текучей среды, при этом, измерители температуры рабочего и опорного термодатчиков, измеритель мощности рабочего термодатчика и измеритель разности температур связаны с вычислительным устройством через аналого-цифровой преобразователь, каждый датчик и теплоотвод имеют противолежащие поверхности, которые параллельны друг другу, кроме того, датчики содержат резистивный элемент, плоскость которого параллельна противолежащей поверхности теплоотвода, и подложку, покрытую металлическим слоем, который образует резистивный элемент.

Благодаря этим отличиям устройство для измерения скорости текучей среды реализует положительные свойства способа, что обеспечивает повышенную эффективность и точность измерения.

Устройство, реализующее способ измерения, изображено на чертеже, где на фиг.1 показан вариант устройства с одним термодатчиком и одним теплоотводом; на фиг.2 - вариант устройства с одним термодатчиком и двумя теплоотводами; на фиг.3 - вариант устройства с двумя термодатчиками и тремя теплоотводами; на фиг.4 - конструкция термодатчика.

Устройство содержит (фиг.1) рабочий термодатчик 1 в виде фольги, смонтированный в изоляторе 2, первый теплоотвод 3, источник питания (электрического тока) 4, измерительную схему 5, второй теплоотвод 6 (фиг.2), расположенный симметрично первому относительно термодатчика 1, опорный датчик 7 (фиг.3), третий теплоотвод 8, аналого-цифровой преобразователь 9 и вычислительное устройство 10. Рабочий и опорный термодатчики соединены с общим источником питания через различные сопротивления 11 и 12.

Каждый термодатчик имеет тонкий изоляционный слой-подложку 13, покрытую тонким слоем 14 проводящего металла. Слой металла протравлен и образует обмотку 15, являющуюся резистивным элементом. Обмотка 15 и подложка 13 представляют собой плоские поверхности. Согласно фиг.1 обмотка

15 термодатчика соединена с источником электрического тока 4, который обеспечивает нагрев обмотки 15 термодатчика, в результате термодатчик излучает в измеряемый поток тепло. Измерительная схема 5 измеряет потребляемую термодатчиком мощность, получая информацию о температуре, то есть является измерителем температуры и мощности термодатчика. Теплоотвод 3 выполнен из металла, который легко проводит тепло и тем самым оттягивает и поглощает генерируемое тепло от датчика 1, при этом направление потока жидкости перпендикулярно направлению теплового потока.

Для пояснения сущности изобретения в активном объеме между термодатчиком 1 и теплоотводом 3 выбирается инкрементный объем 16. При этом использованы следующие обозначения: Z - расстояние между датчиком 1 и инкрементным объемом 16; dZ - толщина инкрементного объема 16; A - площадь инкрементного объема 16; T<sub>0</sub> - температура датчика 1; T<sub>a</sub> - окружающая температура теплоотвода 3 и жидкости, протекающей через расходомер; T - температура жидкости в инкрементном объеме 16; Q - теплота; C - теплоемкость или удельная теплоемкость жидкости; D - плотность жидкости; K - теплопроводность жидкости; d - дифференциальный оператор; t - время; V - средняя молекулярная скорость жидкости, протекающей за датчиком 1; W - мощность, подаваемая на жидкость через сопротивление 11.

Профиль постоянной скорости жидкости предполагается через зазор между датчиком 1 и теплоотводом 3. Теплота Q<sub>1</sub>, содержащаяся в инкрементном объеме 16, пропорциональна теплоемкости C жидкости, массе жидкости (DA · dZ) и ее температуре T следующим образом:

$$Q_1 = CDTA \cdot dZ.$$

Скорость аккумуляирования тепла в инкрементном объеме 16 составляет dQ<sub>1</sub>/dt минус скорость, с какой тепло удаляется с элемента жидкостью, протекающей со скоростью Y, следующим образом

$$dQ_1/dt = CDA \cdot dZ(dT/dt) - CDA \cdot dZ(T -$$

$$-T_a)V = CDA \cdot dZ(dT/dt - (T - T_a)V].$$

Скорость теплового потока или потока от датчика 1 в инкрементный объем 16 пропорциональна площади поверхности A, теплопроводности жидкости K и наружному нормальному градиенту температуры dT/dZ, следующим образом

$$dQ_2/dt = KAdt/dZ.$$

Скорость теплового потока из инкрементного объема 16 определяется следующим образом

$$dQ_3/dt = dQ_2/dt + d/dZ(dQ_2/dt)dZ =$$

$$= -KAdT/dZ - d/dZ(KAdT/dZ)dZ.$$

В результате сохранения тепла

$$dQ_2/dt - dQ_3/dt = dQ_1/dt;$$

$$-KAdT/dZ + KAdT/dZ +$$

$$+d/dZ(KAdT/dZ)dZ = CDA dZ$$

$$[dT/dt - (T - T_a)V]$$

и

$$d^2T/dZ^2 = CD/K[dT/dt - (T - T_a)V].$$

В стабильном состоянии dT = 0 и d<sup>2</sup>N/dZ<sup>2</sup> = CDY/K(-T + T<sub>a</sub>).

Эти дифференциальные уравнения, вместе с ниже следующими граничными условиями описывают тепловое окружение (среду) в активном объеме между датчиком 1 и теплоотводом 3.

1. При Z = 0 (датчик 1)

а) dT/dZ - (1 - /KA) (Мощность, подаваемая на датчик 1) = -W/KA;

б) T = T<sub>0</sub>;

2. При Z = g (поверхность теплоотвода 3), T = T<sub>a</sub>.

Поэтому уравнение стабильного состояния, описывающее температуру T для любого местоположения Z в активном объеме, будет

$$T = T_a + [(g - 1)W/KA] \exp[-(g - Z)SQRT \ x$$

$$x (CDY/K)].$$

Уравнение стабильного состояния, описывающее температуру датчика при Z = 0, будет

$$T_0 = T_a + [gW/KA] \exp[-(g)SQRT(CDY/K)] \quad (1)$$

Поэтому повышение температуры TR = T<sub>0</sub> - T<sub>a</sub> датчика 1 выше окружающей может быть выражено как

$$TP = (KONCTANTA1 \ x \ g \ x \ W/A) \ x$$

$$x \ EXP(-g \ x \ SQRT(KONCTANTA2 \ x \ Y), \quad (2)$$

где KONCTANTA1 и KONCTANTA2 определяются только свойствами жидкости.

Это уравнение имеет замечательное свойство, которое заключается в том, что в целом изменение и чувствительность TR к повышению температуры датчика 1 по отношению к окружающей температуре текущей жидкости может диктоваться для любого типа требуемой жидкости или диапазона скоростей

просто путем выбора размера зазора  $G$ , и мощности теплового потока.

Для измерения скорости текучей среды включают источник питания 4, в результате чего нагревается термодатчик 1, который излучает тепловой поток перпендикулярно направлению текучей среды к теплоотводу 3. Текучая среда уносит часть тепла, понижая температуру термодатчика. С помощью измерительной схемы 5 измеряют превышение температуры термодатчика относительно температуры текучей среды и потребляемую термодатчиком мощность. По этим данным вычисляют скорость потока, используя в качестве алгоритма уравнения (1) и (2). С учетом параметров текучей среды ( $C$ ,  $D$ ,  $K$ ) и места расположения термодатчика ( $G$ ). Если скорость потока изменяется, то происходит изменение части уносимого тепла, т.е. модуляция теплового потока текучей средой, что приводит к изменениям измеряемых параметров, которые благодаря линейности расчетные уравнений замеряются с достаточно большой точностью.

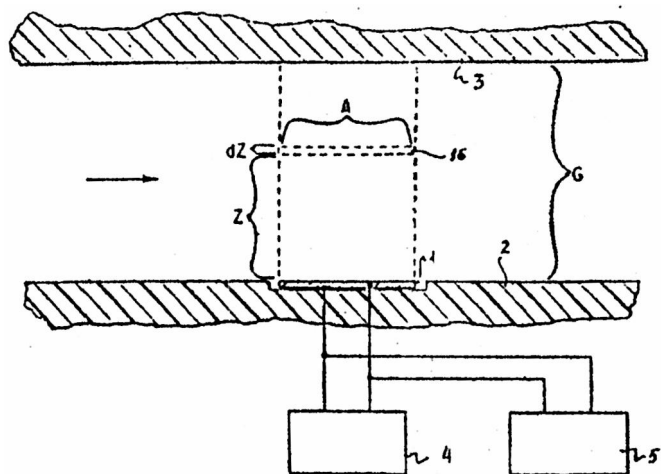
Второй вариант реализации на фиг.2 показывает, как свести до минимума паразитные потери тепла, связанные с изоляционной поверхностью 2 на фиг.1. На фиг.2 датчик 1 такой же, как датчик на фиг.1, однако он свисает между двумя теплоотводами 3 и 6 на равном расстоянии от них. Жидкость течет с обеих сторон датчика 1. Поверхности теплоотводов 3, 6 находятся при одинаковой окружающей температуре, какой является температура текущей жидкости. Площадь обеих поверхностей или сторон датчика 1 используется для вычисления отношения температура/скорость жидкости. Благодаря незначительной толщине подложки датчика 1 по существу равные количества тепла будут течь в обоих направлениях от датчика.

На фиг.3 показан третий вариант реализации. В этом варианте можно компенсировать изменение температур жидкости, входящей в термический расходомер. В этом варианте реализации датчика 1 является измерительным или активным датчиком, аналогичным датчиком на фиг.1 и 2. Датчик 1 установлен на равноотстоящем расстоянии между двумя теплоотводами 3 и 6.

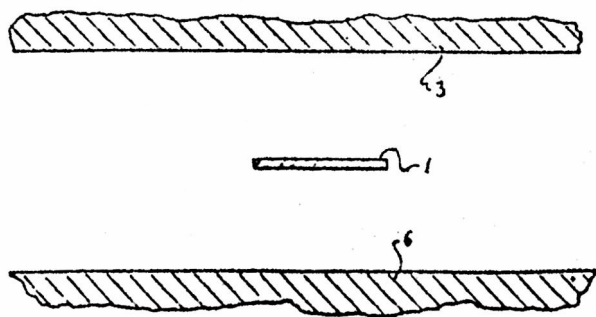
Второй датчик 7 установлен на равноотстоящем расстоянии между теплоотводом 6 и вторым теплоотводом 8. Датчик 7 той же конструкции, что и датчик 1, однако он является опорным контрольным датчиком. Контрольный датчик 7 имеет тепловые свойства идентичные активному датчику 1, но мощность, потребляемая при проведении измерения температуры контрольным датчиком 7, устанавливается на менее, чем одна сотая мощности, потребляемой в активном состоянии датчиком 1. В этом случае ДТ является температурой активного датчика 1 минус температура контрольного датчика 7.

Источник питания 4 постоянного тока имеет свои положительные выводы, соединенные с одной стороной обмотки датчиков 1, 7. Активный датчик 1 имеет другой конец своей обмотки, соединенный с резистором 11. Контрольный датчик 7 другой стороной соединен с резистором 12.

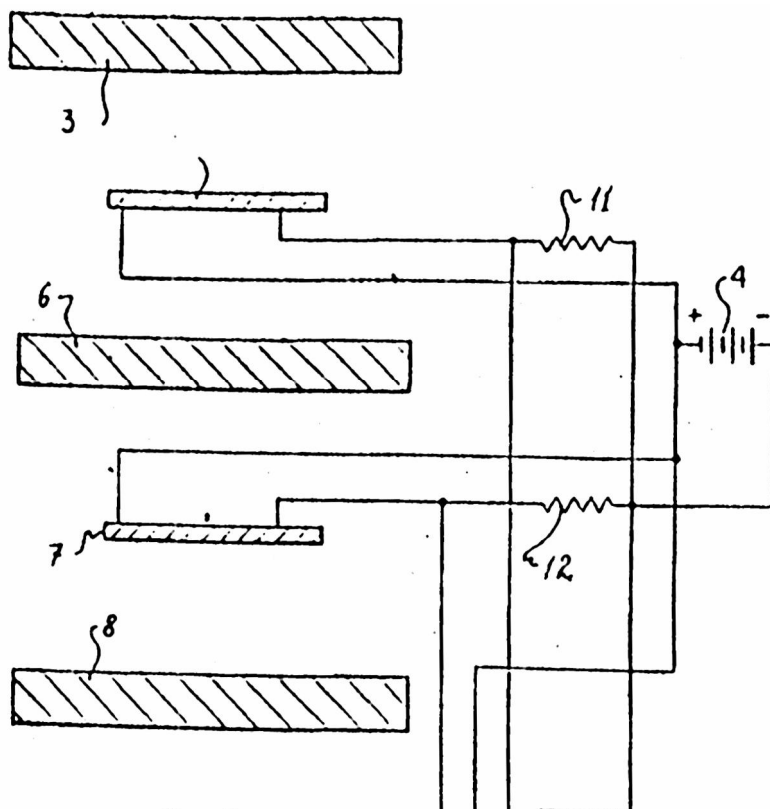
Противоположные стороны резисторов 11, 12 соединены с отрицательным выводом источника питания 4, и входом  $C1$  аналого-цифрового преобразователя 9. Вход  $C2$  аналого-цифрового преобразователя 9 соединен между резистором 11 и активным датчиком 1. Вход  $C3$  соединен с положительным выводом источника питания 4. Вход  $C4$  соединен между резистором 12 и контрольным датчиком 7. Выход аналого-цифрового преобразователя 9 соединен с обычным компьютером 10. Аналого-цифровой преобразователь 9 собирает аналоговые напряжения на своих выходах  $C1$ ,  $C2$ ,  $C3$  и  $C4$  и посылает цифровые данные на компьютер 10 для вычисления скоростей. Вся измерительная схема, включая аналого-цифровой преобразователь, является измерителем температуры рабочего и опорного термодатчиков, мощности рабочего термодатчика и разности температур. Благодаря использованию уникального способа модуляции теплового потока, изобретение позволяет измерять широкий диапазон скоростей различных типов жидкостей. Изобретение позволяет кроме трех описанных вариантов реализации получить и другие варианты, основанные на данном принципе.



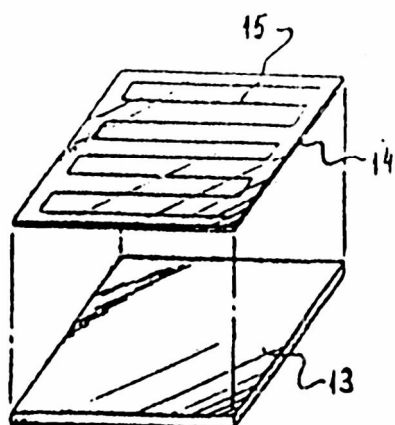
Фиг. 1



Фиг. 2



Фиг. 3



Фиг. 4