

ОБОСНОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ПРИБОРА КОНТРОЛЯ ЗАТРАТ КОЛИЧЕСТВА ТЕПЛА

Косарев Н.П., доц., к.т.н., доц.; Шукост С.В., магистрант

(ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет», г. Донецк, ДНР)

Системы учета тепла становятся необходимыми, как потребителям тепла, так и его поставщикам. Первостепенным критерием качества систем теплоснабжения является отсутствие температурного дискомфорта в помещении и постоянное наличие горячей воды с определенной температурой в требуемом объеме.

На сегодняшний день существуют различные приборы и системы контроля расхода воды и тепла. Они обладают рядом недостатков в частности высокая погрешность измерения. Эту проблему в автономных котельных можно решить путем использования ультразвуковых расходомеров, работающие по принципу изменения времени прохождения ультразвукового сигнала от источника до приемника сигналов, которое зависит от скорости потока жидкости. Ультразвуковые теплосчетчики хорошо работают только при измерении расхода чистой, однородной жидкости, проходящей по чистым трубам. При протекании жидкостей, имеющих посторонние включения и при неустойчивом расходе, они дают существенные неточности показаний, так же присутствуют паразитные акустические сигналы.

Область применения ультразвуковых расходомеров не ограничивается лишь измерениями «традиционных» малых и средних расходов. Ультразвуковые теплосчетчики успешно и эффективно используются для организации современного коммерческого учета больших расходов на крупных предприятиях теплоснабжения – котельных и ТЭЦ.

В связи с чем была сформирована основная цель: разработать и обосновать структуру прибора контроля затрат количества тепла, который сможет осуществлять контроль тепла в строениях, оборудованных автономными котельными.

Для достижения поставленной задачи, нам требуется:

- 1) осуществить выбор метода измерений, обеспечивающий лучшие показатели и надёжность;
- 2) разработать математическую модель процесса измерений;
- 3) разработать структурную схему нашего устройства.

В ходе проведенных исследований различных методов контроля было выявлено, что наиболее точным методом является – ультразвуковой.

Достоинства данного метода: высокая точность измерения в широком динамическом диапазоне; отсутствие подвижных и выступающих в поток измерительных элементов; отсутствие потерь давления; независимость показаний от изменения электропроводности среды; низкое энергопотребление; возможность бесконтактного измерения расхода жидкостей; возможность измерения расхода жидкостей в широком диапазоне диаметров условного прохода трубопроводов (15 - 1600 мм); возможность простой имитационной проверки без демонтажа первичного преобразователя с трубопровода.

Сущность данного метода измерений заключается в том, что характеристики потоков могут быть определены при помощи ультразвуковых волн. Основная идея заключается в детектировании изменения частоты или сдвига фаз, вызываемых подвижной средой. Ультразвуковые датчики реализуются на основе либо эффекта Доплера, либо определения изменений эффективной скорости ультразвука в среде. Эффективная скорость звука в подвижной среде равна скорости звука в этой среде плюс скорость среды относительно источника звука. Таким образом, распространение звуковой волны против потока среды приведет к уменьшению эффективной скорости звука, а вдоль потока — к увеличению. Разность между этими двумя эффективными скоростями звука равна удвоенной скорости

потока среды. Поэтому ультразвуковые датчики для определения скорости потока измеряют скорость звука вдоль и против течения.

Ниже показаны два ультразвуковых генератора (см. рис. 1), расположенные на двух противоположных сторонах трубы, по которой течет поток жидкой среды. В качестве ультразвуковых генераторов, как правило, используются пьезоэлектрические кристаллы. Каждый кристалл может использоваться либо для возбуждения ультразвуковых волн, либо для их приема. Другими словами, один и тот же кристалл при необходимости работает и как «громкоговоритель», и как «микрофон».

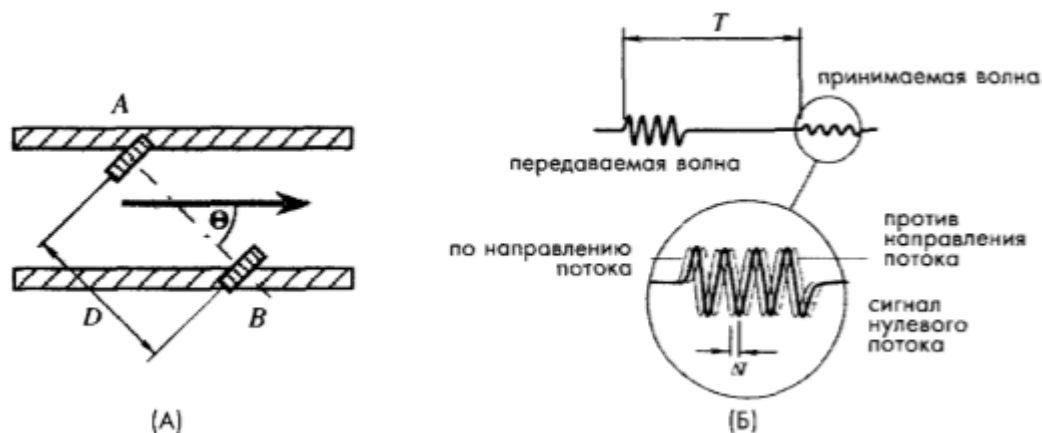


Рисунок 1 – Ультразвуковой расходомер. А – положение приемно-передающих кристаллов в потоке среды, Б – форма звуковых волн

Кристаллы расположены на расстоянии D друг от друга под углом θ по отношению к направлению потока. Также возможно располагать небольшие кристаллы прямо внутри трубы строго по направлению потока ($\theta = 0$). Время распространения звука между двумя кристаллами А и В связано со средней скоростью потока v_c следующим соотношением:

$$T = \frac{D}{c \pm v_c \cos \theta}, \quad (1)$$

где c — скорость звука в среде. Знак \pm означает направление распространения звука: вдоль потока или против него. Скорость v_c — это скорость потока, усредненная вдоль пути распространения ультразвука. Гесснер показал, что для ламинарного потока $v_c = 4v/3$, а для турбулентного — $v_c = 1.07v_a$, где v_a — средняя скорость потока через поперечное сечение. Определив разность между скоростями звука вдоль и против течения потока, можно найти, что:

$$\Delta T = \frac{2Dv_c \cos \theta}{c^2 + v_c^2 \cos^2 \theta} \approx \frac{2Dv_c \cos \theta}{c^2}. \quad (2)$$

Это выражение справедливо для большинства случаев, когда $c \gg v_c \cos(\theta)$. Для улучшения отношения сигнал/шум время распространения ультразвукового сигнала часто измеряется в двух направлениях, при этом оба пьезокристалла работают попеременно то приемниками, то передатчиками. Это можно реализовать при помощи переключательного устройства, показанного на рисунке (см. рис. 2), который работает со сравнительно низкой частотой (например, 400 Гц). Синусоидальные ультразвуковые волны (с частотой около 3 МГц) передаются в импульсном режиме с той же самой медленной тактовой частотой (400 Гц). Принятый ВЧ сигнал отстает от переданного на время T . Величина этой задержки зависит от скорости потока среды (см. рис. 1Б). Время T измеряется при помощи времяпролетного детектора, а синхронный детектор используется для определения разницы времен ΔT , затраченных на распространение сигнала вдоль и против течения потока. Такой

ультразвуковой датчик обладает достаточно высокой точностью, его дрейф нуля составляет $5 \cdot 10^3 \text{ м/с}^2$ в течение 4-х часового интервала времени.



Рисунок 2 – Схема ультразвукового расходомера, в котором каждый кристалл играет роль и передатчика, и приемника

Альтернативный способ измерения расхода при помощи ультразвуковых датчиков заключается в определении разности фаз между переданным и принятым импульсным сигналом. Выражение для разности фаз можно вывести из уравнения:

$$\Delta f = \frac{4\pi f D v_c \cos \theta}{c^2}, \quad (3)$$

где f — частота ультразвукового сигнала. Очевидно, что чем выше частота, тем лучше чувствительность датчика. Однако при повышении частоты усиливается ослабление звука в системе, что может привести к снижению отношения сигнал/шум.

В доплеровских расходомерах используется непрерывное излучение ультразвуковых волн. На рисунке показан расходомер, в котором излучатель и приемник расположены внутри потока (см. рис. 2). Также как и в доплеровском радиоприемнике здесь происходит сложение частот излученного и принятого сигналов. Для этого в схему включен нелинейный элемент - смеситель. Полосовой фильтр служит для ослабления ненужных гармоник выходного низкочастотного сигнала. Частота выходного сигнала определяется выражением:

$$\Delta f = f_s - f_r \approx \pm \frac{2f_s v}{c}, \quad (4)$$

где f_s и f_r - частоты излучающего и принимающего кристаллов, а знак $+$ относится к разным направлениям потока. Из выражения видно, что разность частот прямо пропорциональна скорости потока. Очевидно, что размеры кристаллов должны быть гораздо меньше поперечного сечения трубы, в которой измеряется скорость потока. Поэтому измеренная скорость является не средней, а локальной скоростью потока. На практике всегда требуется калибровать ультразвуковые датчики во всем температурном диапазоне для каждой конкретной среды и также требуется учитывать вязкость исследуемой жидкости.

Ультразвуковые пьезоэлектрические преобразователи изготавливаются в виде небольших керамических дисков, встроенных в корпус расходомера. Поверхность кристалла покрывается защитным материалом (например, силиконовой резиной) [1, с. 386-389].

На основании полученных сведений, нами была составлена математическая модель устройства:

$$Q = G_1(t_1 - t_2), \quad (5)$$

где G_1 – масса теплоносителя, поступившего потребителю по подающему трубопроводу; t_1 и t_2 – температура теплоносителя, соответственно, в подающем и обратном трубопроводах [2].

На следующем этапе, нами была составлена предварительная структурная схема теплосчетчика (см. рис. 3).

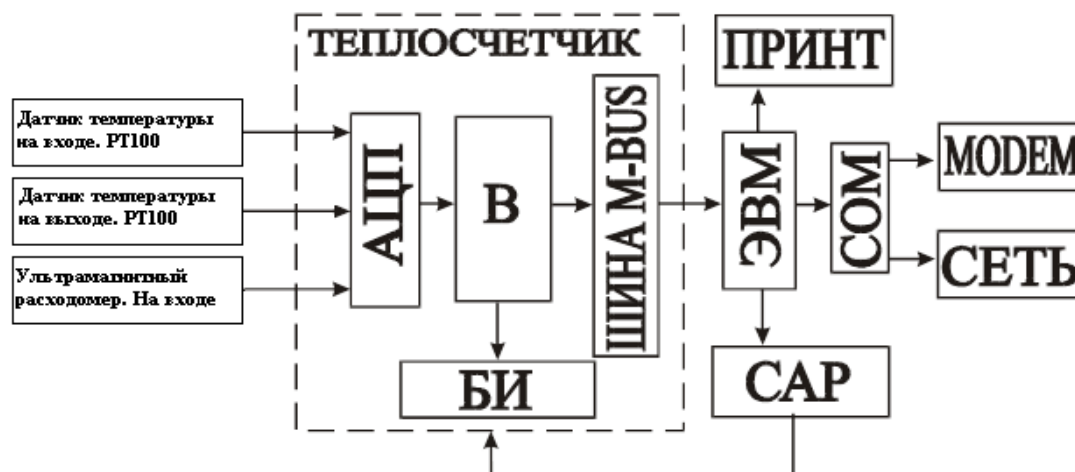


Рисунок 3 – Структурная схема теплосчетчика

На рисунке расположены: 2 датчика температуры RT100 (на подающем и обратном трубопроводе), ультразвуковой расходомер (на подающем трубопроводе).

Условные обозначения: АЦП – Аналогово-цифровой преобразователь; В – Вычислитель (микроконтроллер); БИ – Блок индикации; Шина M-BUS – Выход на M-Bus; ЭВМ – Компьютер; COM – COM-порт; ПРИНТ – Принтер; СЕТЬ – Выход для подключения данного прибора в сеть ETHERNET; MODEM – Пересылка информации в глобальную сеть INTERNET; САР – Система автоматического регулирования.

Вычислитель (В) каждые 24 часа производит автоматический контроль точности определения разности температур; в случае отказа питания накопленная информация сохраняется (EEPROM).

Считывание показаний с теплосчетчика может производиться визуально с дисплея вычислителя, а также дистанционно - через шину M-BUS и индукционную розетку с помощью ручного терминала, находящегося на расстоянии до 100 м, или компьютера с помощью интерфейса, связанного с теплосчетчиком телефонной линией или специальным кабелем.

Использование шины M-BUS позволяет обеспечить снятие показаний с 250 теплосчетчиков по следующим параметрам: количество тепловой энергии; объем теплоносителя; объемы воды, измеренные двумя дополнительными счетчиками; температуры теплоносителя; сигналы неисправностей; серийный номер вычислителя; дата и время снятия показаний.

На следующем этапе планируется детальная разработка принципиальной схемы системы, с подробным описанием ее функциональных блоков.

Перечень ссылок

1. Фрайден, Дж. Современные датчики : Справочник / Дж. Фрайден. – Москва : Техносфера, 2005. – 592 с.
2. ООО ИИП "АВОК-ПРЕСС" : Учет тепловой энергии – электронные данные [Электронный ресурс]. – Режим доступа : https://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=3029. – дата доступа : январь 2018.
3. Кремлевский, П. П. Расходомеры и счетчики количества : Справочник / П. П. Кремлевский. – Ленинград : Машиностроение. Ленингр. отделение, 1998. – 420 с.