

А.К. ГОЛОВИНА, студ., ДВНЗ «ДонНТУ»,
А.А. ЗОРИ, д-р техн.наук проф., ДВНЗ «ДонНТУ»,
В. П. ТАРАСЮК, к-т техн. наук, доц., ДВНЗ «ДонНТУ»,

ПРИБОР ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОБЪЕМНОГО РАСХОДА ТЕПЛА НА ОСНОВЕ УЛЬТРАЗВУКА И ПЬЕЗОКЕРАМИКИ

В данной работе аргументирована необходимость контроля расхода тепла в высотных зданиях, оборудованных автономными котельными. Предложена структура прибора с применением микропроцессорной технологии. В основу прибора входит пьезокерамика, обеспечивающая не только точность ультразвукового метода измерений, но и высокую эксплуатационную надежность приборов.

In this article was argued the need to control heat flow in high-rise buildings equipped with independent boilers. Proposed develop a device using microprocessor technology and piezoceramic elements, which provides accuracy of the ultrasonic measurement method and the reliability of devices too.

Введение. Системы учета тепла становятся необходимыми, как потребителям тепла, так и его поставщикам. Основным критерием качества систем теплоснабжения является отсутствие температурного дискомфорта в помещениях и постоянное наличие горячей воды с определенной температурой в требуемом объеме. Это достигается за счет внедрения автономных котельных, функционирующих по принципу полной автоматизации технологического процесса. Важным преимуществом децентрализованных систем теплоснабжения является возможность местного регулирования в системах квартирного отопления и горячего водоснабжения. Однако эксплуатация источника теплоты и всего комплекса вспомогательного оборудования квартирной системы теплоснабжения жильцами не всегда дает возможность в полной мере использовать это преимущество. Последние исследования показали [1], что существует необходимость контроля потерь тепла на каждом этаже. Для того, чтобы не привлекать ремонтно-эксплуатационную организацию для обслуживания источников теплоснабжения необходимо не только в квартирах, но и на каждом этаже установить теплосчетчики, для оперативного слежения за потерями тепла в здании и управления процессом теплоснабжения.

Анализ литературы.

Анализ разработок по этой теме позволил сделать вывод, что для контроля расхода воды и тепла существуют различные приборы и системы. Одними из их основных недостатков являются относительно высокая погрешность измерения и недостаточная метрологическая надежность. Эту проблему в автономных котельных можно решить путем использования ультразвуковых расходомеров, работающих на принципе изменения времени

прохождения ультразвукового сигнала от источника до приемника, которое зависит от скорости потока жидкости и обладающих сравнительно высокой надежностью при относительно низкой стоимости.

Постановка задачи. В настоящее время к расходомерам и счетчикам предъявляются много требований, удовлетворить которые совместно достаточно сложно и не всегда возможно.[2] При этом имеют место две группы требований. К первой группе относятся индивидуальные требования: высокая точность, надежность, независимость результатов измерения от изменения плотности вещества, быстрдействие и значительный динамический диапазон измерения. Ко второй группе относят требования, которые характеризуют всю группу расходомеров и счетчиков: необходимость измерения расхода и количества тепла очень разнообразной номенклатуры веществ с отличительными свойствами при существенных значениях внешних дестабилизирующих факторов (относительно больших изменениях давлений и температуры).

Таким образом, для устранения указанных недостатков работа направлена на повышение точности измерений - одного из основных требований предъявляемых к приборам при требуемой надежности и относительно невысокой стоимости.

Основная часть.

Изготовители расходомеров постоянно работают над тем, чтобы найти наилучшую замену механическим счетчикам.[3] Конструкторско-исследовательские работы показали, что наиболее удачной заменой является использование ультразвукового метода измерения расхода построенного на основе пьезокерамики и микропроцессорных технологий, обеспечивающих не только требуемую точность измерений, но и высокие метрологическую и эксплуатационную надежность приборов.

Пьезоэлектрический эффект присущ некоторым природным кристаллам, таким как кварц и турмалин, которые в течение многих лет использовались в качестве электромеханических преобразователей. Кристаллическая решетка кристаллов, обладающих пьезоэлектрическим эффектом, не имеет центра симметрии. Воздействие (сжимающее или растягивающее), приложенное к такому кристаллу, приводит к поляризации после разделения положительных и отрицательных зарядов, имеющих в каждой отдельной элементарной частице. Эффект практически линейный, то есть степень поляризации прямо пропорциональна величине прилагаемого усилия, но направление поляризации зависимо, так как усилие сжатия или растяжения генерируют электрические поля, а следовательно, и напряжение, противоположной полярности. Соответственно, при помещении кристалла в электрическое поле упругая деформация вызовет увеличение или уменьшение его длины в соответствии с величиной и направлением полярности поля.

Под воздействием электрического поля (напряжения) размеры пьезокерамического элемента изменяются. При механических воздействиях пьезокерамический элемент генерирует электрический ток. Поэтому пьезокерамический элемент может использоваться в качестве как излучателя так и приемника сигнала, т.е. как премопередатчик.

Два основных принципа ультразвукового метода измерения расхода - это транзитно-временной метод и метод на основе эффекта Доплера. Метод Доплера использует эффект изменения частоты звука, отражающегося от движущихся частиц. Транзитно-временной метод основан на том факте, что ультразвуковому сигналу, направленному против движения потока, для прохождения расстояния от излучателя до приемника требуется больше времени, чем сигналу, направленному по ходу движения потока. Разность времени прохождения сигнала в пределах трубы расходомера крайне мала (наносекунды).

Поэтому для достижения необходимой точности измерения разность времени прохождения сигнала определяют по разности фаз между двумя сигналами с частотой 1МГц. Определение величины расхода Q производится измерением расходной скорости F потока и умножением ее на площадь сечения A измерительной трубы:

$$Q = F \cdot A \quad (1)$$

Площадь и расстояние, которые проходит сигнал в измерительной трубе, известны. Расстояние, проходимое сигналом, можно представить в виде выражения $L = V \cdot T$, из которого получаем

$$T = \frac{L}{V}, \quad (2)$$

где: L - измеряемое расстояние

V - скорость прохождения звукового сигнала

T - время его прохождения.

Теперь время можно выразить как разность между скоростями сигналов, направленных по направлению потока и против него:

$$\Delta T = L \cdot \left(\frac{1}{V_1} - \frac{1}{V_2} \right). \quad (3)$$

В применении к ультразвуковым расходомерам скорости V_1 и V_2 можно записать как:

$V_1 = C - F$ соответственно $V_2 = C + F$ где:

C - скорость распространения звука в воде

Применяя вышеприведенную формулу, получаем:

$$\Delta T = L \cdot \frac{1}{C - F} - \frac{1}{C + F}, \quad (4)$$

что можно выразить как

$$\Delta T = L \cdot \frac{(C + F) - (C - F)}{(C - F) \cdot (C + F)} \Rightarrow \Delta T = L \cdot \frac{2F}{C^2 - F^2} \quad (5)$$

Поскольку $C \gg F$, то можно величиной F^2 пренебречь и выражение будет иметь вид:

$$F = \frac{\Delta T \cdot C^2}{L \cdot 2} \quad (6)$$

Т.о. контроль объемного расхода тепла следует рассчитывать по формуле (6).

Чтобы минимизировать неточности, вызываемые изменениями скорости звука в воде, производят ее измерение. Измерения скорости распространения звука в воде производятся по специальным методикам Доплера. Для этой цели производится ряд измерений абсолютного времени прохождения сигнала между двумя приемопередатчиками. Результаты измерений затем пересчитываются в текущую скорость распространения звука, используемую далее при вычислениях. [4]

В динамическом диапазоне прибора от порога чувствительности до абсолютного максимального расхода имеет место линейная зависимость между протекающим объемом жидкости и выдаваемым количеством импульсов. На рисунке 1 приведен пример зависимости между расходом и частотой импульсов.

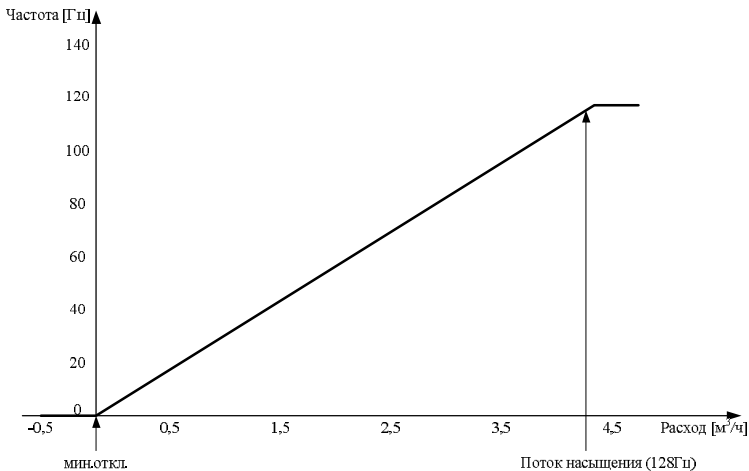


Рис. 1. Зависимость между частотой и расходом тепла.

Если расход ниже порога чувствительности или противоположен по направлению, импульсы не генерируются. (см.рис. 1).

При значениях расхода выше потока насыщения, которому соответствует макс. частота 128 Гц, будет продолжаться генерирование импульсов максимальной частоты.

Структурная схема прибора. 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 переключающего устройства, показанного на 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 тактовой частотой (400 Гц). Принятый ВЧ сигнал отстает от задающего на время T . Величина этой задержки зависит от скорости потока среды. Время T измеряется при помощи времяпролетного детектора, а синхронный детектор используется для определения разницы времен ΔO , затраченных на распространение сигнала вдоль и против течения потока. Такой ультразвуковой датчик обладает достаточно высокой точностью (порядка 2%).

Классы точности:

$$\text{Клас 1: } E_c = \pm \left(0,5 + \frac{3\Delta\Theta_{\min}}{\Delta\Theta} \right);$$

$$\text{Клас 2: } E_t = \pm \left(2 + \frac{0,02q_P}{q} \right), \text{ але не більш ніж } \pm 5\%;$$

$$\text{Клас 3: } E_f = \pm \left(3 + \frac{0,05q_P}{q} \right), \text{ але не більш ніж } \pm 5\%;$$

где погрешность E_c устанавливает связь между измеренным значением количества теплоты и его, значения E_c и E_t для класса 1 определяют тогда, когда усовершенствования методик испытаний и преобразований расхода позволяют это сделать .



Рис.2. Схема ультразвукового расходомера, в котором каждый кристалл играет роль и передатчика, и приемника.

Выводы. 1. Разработана структура прибора контроля расхода количества тепла с заданной степенью точности не более 2% который отслеживает расход и потери тепла на каждом этаже. Прибор реализован путем установки на этажах высотного дома ультразвуковых тепловодосчетчиков.

2. В ультразвуковых расходомерах в качестве излучателей и приемников акустических колебаний предложено использовать пьезокерамические материалы с высокой диэлектрической проницаемостью.

3. Для измерения расхода чистых жидкостей предложено использовать высокие резонансные частоты и тонкие пьезокерамические пластины. Для измерения расхода веществ с механическими примесями или газовыми пузырями - использовать пьезокерамику большей толщины, имеющую более низкую резонансную частоту.

Список литературы: 1. <http://www.c-o-k.com.ua/content/view/35/0/> 2. *Кремлевский П.П.* Расходомеры и счетчики количества: Справочник.–Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние. 3. www.kamstrup.com 4. *Дж. Фрайден* Современные датчики. Справочник – Москва: Техносфера, 2006.