

УДК 621.317

*Бондарь А.И., Дегтярь С.М., Павленко С.А., Смоляков В.А., Юдин А.Ю.*

## **ИЗМЕРЕНИЕ РАСХОДА ЖИДКОСТИ С ПОМОЩЬЮ УЛЬТРАЗВУКОВОГО РАСХОДОМЕРА**

**Введение.** Важное значение в системах управления производственными процессами и контроля качества выпускаемой продукции в машиностроении, нефтеперерабатывающей, химической, фармацевтической, пищевой промышленности имеет измерение расхода жидкости. Стремительное развитие электроники и вычислительной техники оказалось предпосылкой для широкой автоматизации самых разнообразных процессов в промышленности, однако реализация этой предпосылки в значительной мере определяется возможностями устройств для получения информации о регистрируемом параметре или процессе.

**Цель работы.** Выбор типа устройства для измерения расхода жидкости и газа для автоматизации технических процессов.

**Основная часть.** В настоящее время известно большое количество средств измерения, построенных на различных физических принципах, обеспечивающих измерение расхода самых разнообразных жидкостей. Наиболее распространенными и хорошо освоенными потребителями до недавнего времени являлись средства измерения, основанные на методе переменного перепада давления на сужающем устройстве, тахометрические и электромагнитные. В меньшей степени были распространены другие, в том числе ультразвуковые расходомеры.

В отличие от электромагнитных, ультразвуковые расходомеры могут использоваться для измерения расхода жидкостей-диэлектриков, например, нефтепродуктов. Особенностью ультразвуковых расходомеров является то, что они могут быть укомплектованы либо врезными датчиками, контактирующими непосредственно с жидкостью в трубопроводе, либо накладными (бесконтактными), монтируемыми на внешней поверхности трубопровода.

До недавнего времени на трубах среднего и большого диаметра наиболее широкое распространение имели узлы учета на сужающих устройствах. Однако в силу различных недостатков: засорения импульсных трубок, необходимости регулярного технического обслуживания, неудобства проведения периодической поверки, стачивания кромки, узкого динамического диапазона, потерь давления имеет смысл перейти на применение более современных ультразвуковых расходомеров.

Принцип действия ультразвукового расходомера (частота более 20 кГц) жидкости и газа основан на явлении смещения звукового колебания проходящего сквозь движущуюся жидкую среду.

Для измерения расхода жидкости и газа ультразвуком в основном используют следующие методы:

- фазовый метод;
- частотный метод;
- времяимпульсный метод.

Принцип фазового метода измерения расхода основан на измерении разности фазовых сдвигов двух ультразвуковых колебаний, направленных по потоку жидкости или газа и против него.

На поверхности трубопровода располагают два пьезоэлектрических элемента.

В качестве пьезоэлектрических элементов используют пластины титаната бария, обладающие наиболее высоким пьезомодулем по сравнению с другими пьезоэлектриками. Один из пьезоэлементов механическим переключателем подключен к генератору высокочастотных синусоидальных электрических колебаний. Этот пьезоэлемент преобразует электрические колебания в ультразвуковые, которые направляются в контролируемую среду через стенки трубопровода. Второй пьезоэлемент воспринимает ультразвуковые колебания, прошедшие в жидкости расстояние, и преобразует их в выходные электрические колебания.

Наличие в схеме механического переключателя ограничивает возможность измерения быстро меняющихся расходов вследствие небольшой частоты переключений (порядка 10 Гц). Это можно исключить, если в трубопроводе установить две пары пьезоэлементов так, чтобы в одной паре излучатель непрерывно создавал колебания, направленные по потоку, а в другой – против потока. В таком расходомере на фазометр будут непрерывно поступать два синусоидальных колебания, фазовый сдвиг между которыми пропорционален скорости потока жидкости или газа. Однако установка второй пары пьезоэлементов существенно повышает стоимость такой системы по сравнению с системой построенной на основе частотного метода.

Принцип частотного метода измерения расхода основан на измерении частот импульсно-модулированных ультразвуковых колебаний, направляемых одновременно по потоку жидкости или газа и против него, определения разности этих частот, которая прямопропорциональна расходу жидкости.

Рассмотрим подробнее принцип времяимпульсного метода измерения расхода.

На рисунке 1 приведена структурная схема ультразвукового времяимпульсного расходомера с накладными датчиками.

Система включает в себя два пьезоэлемента (ПЭ), монтируемых с внешней стороны трубопровода по Z-схеме или по V-схеме (отличается тем, что в ней пьезоэлементы находятся с одной стороны трубопровода), и электронный блок. В данном случае рассматривается подключение по Z-схеме.

Пьезоэлементы размещаются на внешней стороне стенок трубопровода. Они являются одновременно и излучателями ультразвукового сигнала, и его приемниками. Генератор выдает синусоидальные колебания стабильной амплитуды с частотой 20 кГц.

После включения прибора происходит начальная установка регистров микроконтроллера: с помощью клавиатуры вводятся входные данные:  $D$  - диаметр трубопровода и  $\rho$  – плотность контролируемого вещества.

Микроконтроллер управляет коммутатором, который подключает пьезоэлементы, тем самым регулируя какой из них будет излучателем, а какой приемником ультразвукового сигнала. Пьезоэлемент, как было сказано выше, возбуждается генератором, если он является излучателем, а если он является приемником, то ультразвуковым сигналом, пришедшим с пьезоэлемента - излучателя.

Сигнал, генерированный пьезоэлементом - излучателем, принимается пьезоэлементом - приемником. Затем он поступает через коммутатор на повторитель, назначение которого заключается в согласовании сопротивлений на входе усилителя и выходе коммутатора.

Затем сигнал поступает на усилитель, где он усиливается до определенного уровня. После этого он подается на вход фильтра, который выделяет полезный сигнал с частотой ультразвука (в нашем случае это 20 кГц). Через выпрямитель преобразующий переменный сигнал в постоянный, сигнал проходит на вход микроконтроллера.

Для корректировки вычислений используется датчик температуры (ДТ). Определение времени распространения ультразвукового сигнала осуществляется в самом

микроконтроллере. Далее микроконтроллер выдает команду на изменение направления излучения и аналогичная ситуация повторяется. Цикл заканчивается, когда микроконтроллер осуществляет расчет времени прохождения ультразвукового сигнала против потока и в направлении потока жидкости. Затем в микроконтроллере производится расчет расхода жидкости по алгоритму расчета. Информация выводится на жидкокристаллический индикатор (ЖКИ) и при необходимости передается на центральную станцию обработки и учета.

Применение микроконтроллера позволяет аппаратно перестраивать прибор для измерения расхода различных веществ при различных диаметрах трубопровода.

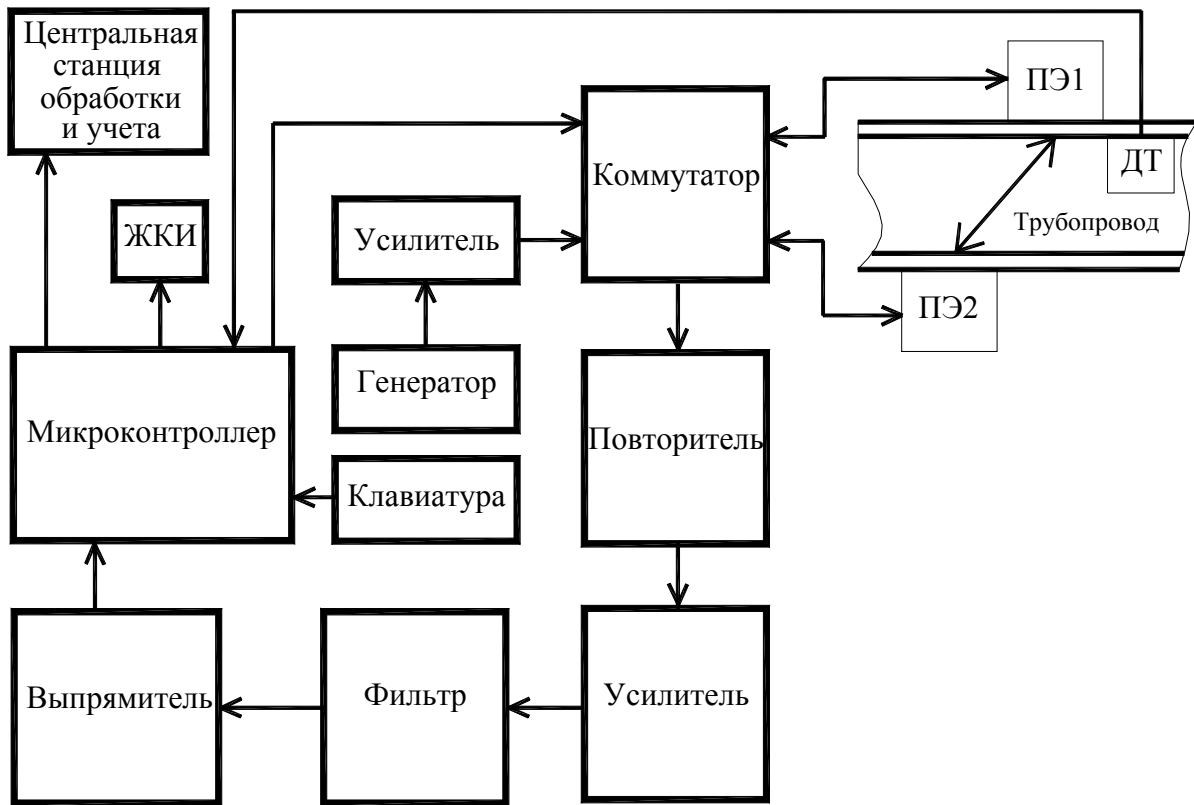


Рис.1. Структурная схема ультразвукового времяимпульсного расходомера

Рассмотрим физический принцип работы ультразвукового времяимпульсного расходомера.

Действие ультразвуковых преобразователей расхода основано на том, что скорость распространения звуковой волны в движущейся среде равна векторной сумме скорости звука в неподвижной среде и скорости среды. Если измерить суммарную скорость, то при известном значении скорости звука в неподвижной среде и известном угле между векторами скорости звука в неподвижной среде и скорости среды можно определить скорость потока, а, следовательно, и расход жидкости.

Измерение скорости звука в движущейся среде обычно осуществляется путем определения интервала времени  $t$ , в течение которого звуковая волна проходит известное расстояние.

Сигнал в виде ультразвукового импульса излучается излучателем и принимается приемником. Интервал времени между моментами приема и получения сигнала:

$$t = L \div (C + v \cdot \cos \theta) \approx L \cdot (1 - v \cdot \cos \theta \div C) \div C, \quad (1)$$

где  $C$  – скорость звука в неподвижной среде,  $v$  – скорость среды (потока),  $\theta$  – угол между векторами  $C$  и  $v$ ,  $L$  – расстояние, которое проходит звуковая волна за время  $t$ .

Отсюда при известных значениях  $L$ ,  $\theta$  и  $C$  находят скорость среды  $v$ .

Однако одноканальный метод определения расхода является сравнительно неточным. Именно поэтому применяют дифференциальные схемы с двумя каналами прохождения звука. Движение потока жидкости увеличивает скорость прохождения ультразвука в одном направлении и уменьшает в другом соответственно. Разность прохождения в двух каналах:

$$\Delta t = 2 \cdot L \cdot v \cdot \cos \theta \div C^2 \quad (2)$$

Но выражение (2) не учитывает многих аспектов при расчете, которые накладывают свой отпечаток на вычисление скорости, а следовательно, и расхода жидкости. Этими аспектами являются: толщина стенок трубопровода, параметры призмы излучателя и приемника (пьезоэлементов), изменение состава или температуры жидкости, что вызывает перемещение рабочей точки датчика по его нелинейной характеристике и приводит к возникновению погрешности на нелинейность. Компенсируется эта погрешность алгоритмом работы микроконтроллера с использованием базы данных измерений амплитуды сигнала пьезоэлемента, сигнала датчика температуры введением в выражение соответствующего коэффициента поправки.

С учетом вышесказанного используется формула для расчета расхода в единицах объема, которая после ряда преобразований выглядит следующим образом:

$$Q = \kappa \cdot \pi \cdot D^2 \cdot v \quad (3)$$

где  $Q$  – расход жидкости в единицу времени;  $\kappa$  – коэффициента поправки;  $D$  – внутренний диаметр трубопровода;  $v$  – скорость потока вещества.

Перейдем от единиц объема, какие выражает формула (3) к единицам массы используя ряд формул:

$$Q = V \div t_k \quad (4)$$

где  $t_p$  – время работы прибора;  $V$  – объем вещества, прошедшего через контролируемое сечение трубопровода за время работы прибора.

Из выражения (4) используя выражение (3) следует:

$$m = \kappa \cdot \pi \cdot D \cdot v \cdot \rho \cdot t_k \quad (5)$$

где  $m$  – масса вещества, прошедшего через контролируемое сечение трубопровода за время контроля прибора;  $t_k$  – время контроля расхода прибора;  $\rho$  – плотность контролируемого вещества.

Достоинствами ультразвуковых расходомеров являются:

- малое или полное отсутствие влияния гидравлического сопротивления;
- высокая по сравнению с другими видами расходомеров надежность (так как отсутствуют подвижные механические элементы);
- высокое быстродействие за счет применения микроконтроллера;
- помехозащищенность;
- использование для измерения расхода газа и диэлектрических жидкостей;
- возможность использования как при стационарном, так и наружном (мобильном) вариантах эксплуатации;
- отсутствие прямого контакта с жидкостью.

**Выводы:** Ультразвуковой контроль расхода жидкости позволяет с требуемой точностью измерять расход жидкости в широком динамическом диапазоне при внутреннем диаметре трубы от 10 мм до 5000 мм без прямого контакта с ней. Результаты измерений могут передаваться на автоматизированную центральную станцию для последующей обработки и учета.

**Литература:** 1. Кремлевский П.П. Измерение расхода и количества жидкости, газа и пара. – М.: Изд-во стандартов, 1990. –192 с. 2. Башутин Ю.П. Новая эра в измерении расхода по перепаду давления // Приборы и системы управления. – 1998. - №5. - с. 54-56. 3. Морозов В.Б. Сравнительные характеристики ультразвуковых расходомеров // Приборы и системы управления. – 1997. - №11. – с.19–24.

**Bibliography (transliterated):** 1.Kremlevskij P.P. Izmerenie rashoda i kolichestva zhidkosti, gaza i para. – М.: Izd-vo standartov, 1990. –192 s. 2. Bashutin Ju. P. Novaja jera v izmerenii rashoda po perepadu davlenija // Pribory i sistemy upravlenija. – 1998. - №5. - s. 54-56. 3. Morozov V.B. Sravnitel'nye harakteristiki ul'trazvukovyh rashodomerov // Pribory i sis-temy upravlenija. – 1997. - №11. – s.19–24.

Бондар О.І., Дегтяр С.М., Павленко С.А., Смоляков В.А., Юдін А.Ю.

#### ВИМІРЮВАННЯ ВИТРАТ РІДИНИ ЗА ДОПОМОГОЮ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ВИТРАТОМІРУ

У статті розглянуто доцільність застосування ультразвукового часоімпульсного витратоміру в промисловості, надана його структурна схема, фізичний принцип роботи, отримано математична формула для визначення витрат рідини.

Bondar A.I., Degtyar S.M., Pavlenko S.A., Smolyakov V.A., Yudin.A.Yu.

#### MEASUREMENT OF THE CHARGE OF THE LIQUID BY MEANS OF THE UL- TRASONIC FLOWMETER

In clause the reasons of expediency of application ultrasonic timeimpulse a flowmeter in the industry are considered, its block diagram is presented, the physical principle of work is described and mathematical expression for definition of the charge of a liquid is received.

УДК 621.85-52

Смоляков В.А., Гужва Ю.М., канд. техн. наук; Бадекин А.А.,  
Безлепкин А.А., Стримовский С.В. канд. техн. наук

#### ВЫБОР И ОБОСНОВАНИЕ НАПРАВЛЕНИЙ СОЗДАНИЯ МИКРОПРОЦЕССОРНЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ СОСТАВНЫМИ ЧАСТЯМИ ШАССИ ЛЕГКОБРОНИРОВАННЫХ КОЛЕСНЫХ МАШИН УКРАИНСКОГО ПРОИЗВОДСТВА

**Введение.** Современные взгляды теории и практики вооруженной борьбы обращают внимание на все возрастающую роль мобильных сил, которые способны вести стремительные маневренные действия на больших пространствах, как с развитой сетью дорог, так и на операционных направлениях вне дорог, а также в условиях сильных разрушений, затоплений, искусственных заграждений, где требуется широкий и быстрый маневр силами и средствами. В связи, с чем современные образцы легкобронированной колесной техники должны обладать высокими тактико-техническими характеристиками (ТТХ).