

Ультразвуковые расходомеры и система учета на их основе

Вячеслав Близнюк, Владимир Костылев, Валерий Сорокопут,
Анатолий Стеценко, Андрей Стеценко

Описаны два типа ультразвуковых расходомеров с накладными датчиками и система учета на их основе.

Введение

В связи с необходимостью организации коммерческого учета задача измерения расхода различных жидкостей с высокой точностью приобрела в последнее время большую актуальность.

Существует большое многообразие приборов [1, 2] для измерения расхода. Однако наиболее эффективно данная задача решается с использованием ультразвуковых расходомеров с накладными датчиками, т. к., во-первых, не нарушается целостность трубопровода, а во-вторых, в поток жидкости не вносится никакое препятствие.

В настоящее время наибольшее распространение получили ультразвуковые расходомеры двух типов:

- расходомеры, в которых используется тот факт, что скорость распространения ультразвуковой волны C в движущейся среде является векторной суммой

$$C = C_{ж} + V,$$

где $C_{ж}$ — скорость распространения ультразвука в неподвижной жидкости, а V — скорость течения жидкости;

- расходомеры, основанные на эффекте Доплера, имеющем место при отражении ультразвуковой волны от некоторого отражателя или группы отражателей, движущихся в потоке жидкости.

В расходомерах, относящихся к первой группе, отклонения величины C от её значения в неподвижной жидкости определяются путем косвенных измерений следующих величин [1, 2]:

- разности времен Δt (временн

метод) прохождения ультразвуковых импульсов по потоку и против него;

- разности фаз $\Delta \varphi$ (фазовый метод) между ультразвуковыми колебаниями, распространяющимися по потоку и против него;

- разности частот Δf (частотный метод) двух автогенераторов, в качестве элемента обратной связи которых используется контролируемая среда.

Современные расходомеры, как правило, реализуют временн

Ультразвуковые временн

Ультразвуковой временн

Теоретические основы функциони-

ных расходомеров описаны во врезке к данной статье.

На рис. 1 приведена структурная схема ультразвукового временн

Расходомер включает в себя два электроакустических преобразователя (ЭП), монтируемых с внешней стороны трубопровода по Z-схеме или V-схеме, и электронный блок, выполненный на базе микропроцессора 87C51GB фирмы Intel.

Цикл измерения, инициируемый микроЭВМ, начинается с выбора одного из направлений излучения ультразвукового импульса (например, по потоку), что достигается установкой коммутатора прием-передача в соответствующее положение. При этом ЭП2 излучает сигнал, а ЭП1 принимает его. Принятый сигнал через коммутатор поступает на схему выделения полезного сигнала, где усиливается и фильтруется от помех. Здесь же принимается решение о наличии или отсутствии сигнала, что позволяет избежать ошибочных измерений при пропадании ультразвуковых колебаний, например при опустошении трубопровода. Определение времени распространения сигнала осуществляется в блоке измерения временн

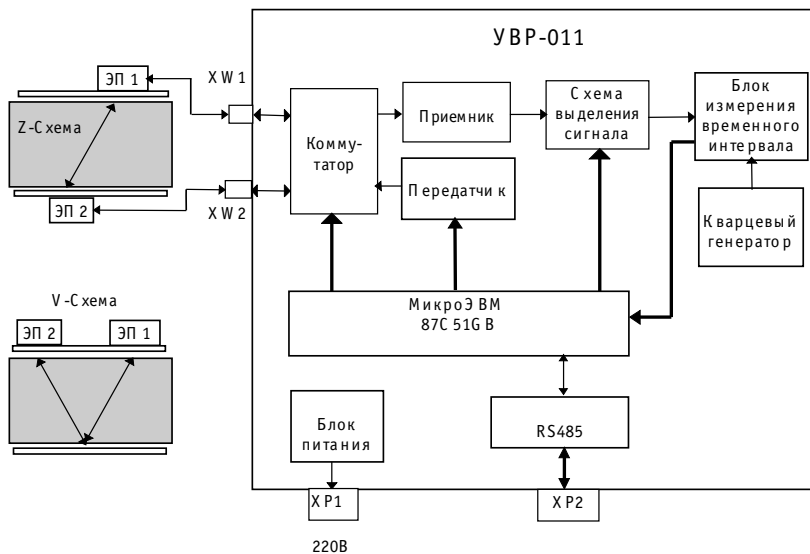


Рис. 1. Структурная схема ультразвукового времяимпульсного расходомера УВР-011

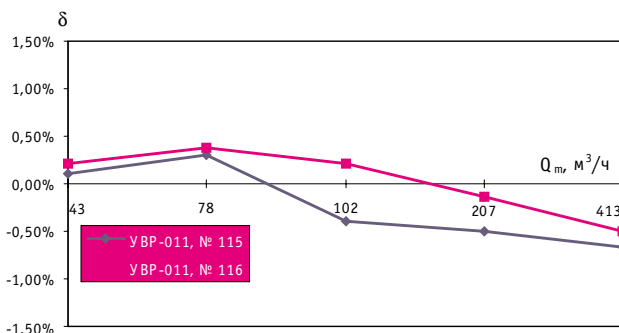


Рис. 2. Зависимость погрешности измерения мгновенного расхода приборами УВР-011

сигнала t_d теперь уже против потока. На этом цикл измерения завершается, и микроЭВМ осуществляет расчет текущего значения расхода жидкости в соответствии с выражением (6).

На рис. 2 представлены зависимости погрешности измерения расхода двух приборов УВР-011, полученные при проливе на образцовой расходомерной установке РОУ-500 (класс точности 0,3), входящей в состав испытательного центра ВНИИАЭН (г. Сумы), аккредитованного Госстандартом Украины.

Ультразвуковой доплеровский расходомер с накладными датчиками УДР-011

Принципы, положенные в основу работы прибора УДР-011, описаны во врезке.

На рис. 3 приведена структурная схема ультразвукового доплеровского расходомера УДР-011 с накладными датчиками.

Прибор содержит два ЭП, размещенных с внешней стороны трубопровода, и электронный блок, образованный кварцевым генератором, усилителем мощности, квадратурным приемником, фазовым детектором (ФД), схемой

оценки центра тяжести спектра принятого сигнала, а также микроЭВМ, выполняющей на базе микропроцессора 87С51FB фирмы Intel.

В данном приборе реализован принцип квадратурной демодуляции принятого сигнала [3], позволяющий определять направление движения жидкости.

ЭП1, возбуждаемый непрерывными колебаниями с частотой ω_0 , поступающими с выхода усилителя мощности, создает ультразвуковую волну, излучаемую в контролируемую среду под углом к оси трубопровода. На вход приемного преобразователя ЭП2 поступает сигнал, отраженный от неоднородностей потока. Принятые колебания подаются в приемник, на выходе которого выделяется квадратурный сигнал доплеровской частоты, поступающий с одной стороны на ФД, а с другой — на вход схемы оценки центра тяжести спектра. Численное значение

ние $\Delta\omega_{цт}$ поступает в микроЭВМ, где в соответствии с соотношениями (9) и (6) осуществляется расчет значения расхода Q.

На рис. 4 представлены зависимости погрешности измерения расхода двух приборов УДР-011, полученные при проливе на установке РОУ-500.

Основные характеристики расходомеров УВР-011 и УДР-011 приведены в таблице 1. Оба прибора внесены в Государственный реестр средств измерительной техники, допущенной к применению на Украине. Суммарная продолжительность эксплуатации приборов на настоящий момент составила более 4000 суток.

На рис. 5 представлена фотография общего вида приборов.

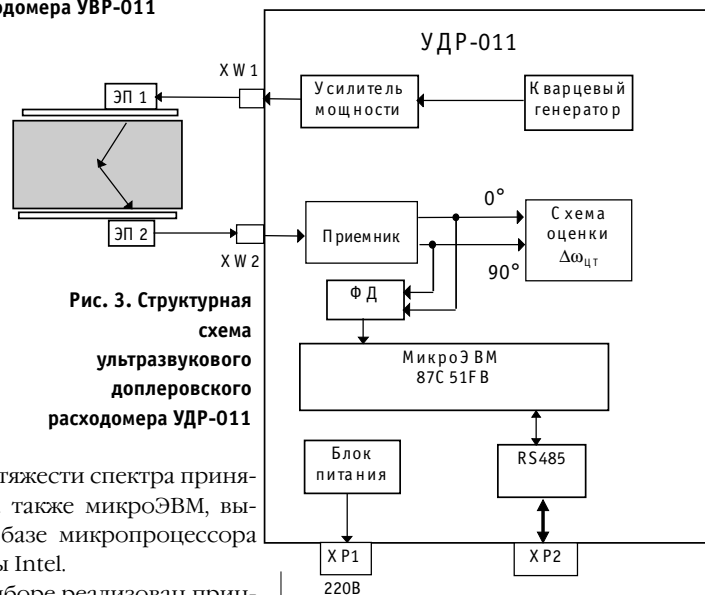


Рис. 3. Структурная схема ультразвукового доплеровского расходомера УДР-011

Система регистрации и отображения информации

Как правило, системы водоснабжения или канализационные хозяйства состоят из множества трубопроводов, в которых необходимо одновременно контролировать расход воды. С другой стороны, существует необходимость выявления утечек в водо- и нефтепроводах

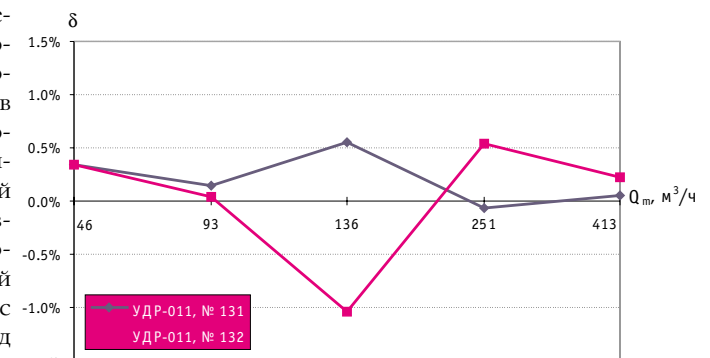


Рис. 4. Зависимость погрешности измерения мгновенного расхода приборами УДР-011

Таблица 1. Основные характеристики приборов

Параметры расходомера	УДР-011	УВР-011
Внутренний диаметр трубопровода, мм	40-1600	90-1600
Диапазон измерения скорости потока, м/с	0,1-6	0,1-6
Диапазон измерения расхода, м ³ /ч	0,4-43000	2,3-43000
Погрешность измерения, %, не более	2	1,5
Диапазон рабочих температур датчиков, °С	-20...+100	-20...+100
Диапазон рабочих температур электронного блока, °С	+5...+40	+5...+40
Габариты электронного блока, мм	340×40×250	340×40×250
Масса электронного блока, кг, не более	2,5	2,5
Напряжение питания, В	220 ⁺²⁰ / ₋₃₅ или 12 В	220 ⁺²⁰ / ₋₃₅ или 12 В
Потребляемая мощность, Вт, не более	12	10
Расстояние между датчиками и электронным блоком, м, не более	70	70



Рис. 5. Общий вид ультразвукового расходомера

- пульт удаленного контроля (рис. 6), который позволяет пользователю работать с прибором так, как если бы он стоял перед ним на столе;
- регистратор-самописец, регистрирующий мгновенные значения расхода, а также другие параметры за определенный интервал времени, например за смену, сутки (рис. 7);

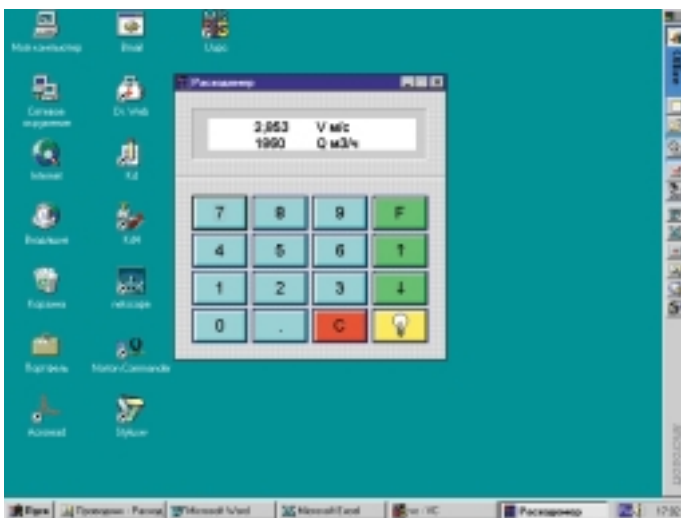


Рис. 6. Программный пульт удаленного контроля

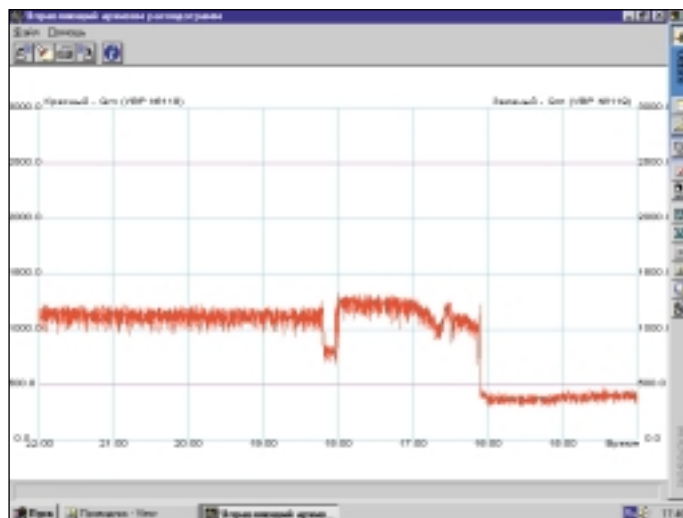


Рис. 7. Регистратор мгновенных расходов

путем установки расходомеров на одном трубопроводе, но в разных его точках. С целью решения подобных задач была разработана система регистрации и отображения информации о расходах, включающая в себя собственно расходомеры (до девяти штук), компьютер, к которому через интерфейс RS-485 подключаются расходомеры, и программное обеспечение Flow Manager, работающее в среде Windows.

Комплекс программ Flow Manager, обеспечивающий взаимодействие пользователя с системой, реализован в виде следующих автономных модулей:

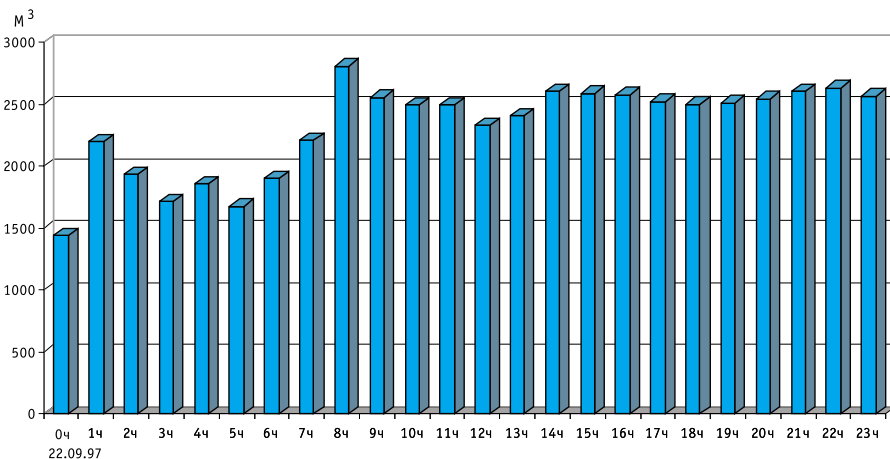


Рис. 8. Суточная расходограмма

- архив для хранения ранее полученных расходограмм, которые в любой момент доступны для анализа (на рис. 8 изображена типичная суточная расходограмма, снятая на Баварской КНС, г. Харьков). ●

Литература

1. Цейтлин В.Г. Расходоизмерительная техника.— М.: Изд-во стандартов, 1977.
2. Кийсбейли А.Ш., Лифшиц Л.М. Первичные преобразователи систем измерения расхода и количества жидкостей.— М.: Энергия, 1980.
3. Хамидулин В.К. Ультразвуковые контрольно-измерительные устройства и системы.— Л.: Издательство Ленинградского Университета, 1989.
4. Ультразвук. Маленькая энциклопедия/Под ред. И.П. Голяминой.— М.: Советская энциклопедия, 1979.

Принципы работы ультразвукового времяимпульсного расходомера

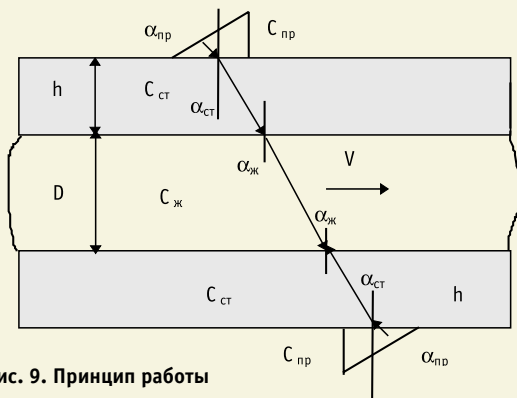


Рис. 9. Принцип работы ультразвукового времяимпульсного расходомера

Время распространения сигнала по потоку (рис. 9) можно записать в виде [3]

$$t_1 = 2(t_n + t_{ст}) + \frac{D}{\cos \alpha_{ж} \cdot [c_{ж} + V \cdot \sin \alpha_{ж}]} \quad (1)$$

Здесь t_n — время распространения ультразвука в призме электроакустического преобразователя (ЭП); $t_{ст}$ — время распространения ультразвука в стенке трубопровода;

D — внутренний диаметр трубопровода;

$c_{ж}$ — скорость распространения ультразвука в неподвижной жидкости;

$\alpha_{ж}$ — угол между вертикалью и направлением распространения ультразвука в жидкости;

V — скорость течения жидкости.

Аналогично время распространения сигнала против потока можно вычислить по формуле

$$t_2 = 2(t_n + t_{ст}) + \frac{D}{\cos \alpha_{ж} \cdot [c_{ж} - V \cdot \sin \alpha_{ж}]} \quad (2)$$

Разрешив систему уравнений (1) и (2) относительно V , получим следующее соотношение

$$V = \frac{\frac{c_{ж}}{\sin \alpha_{ж}} \cdot (t_2 - t_1)}{t_2 + t_1 - 4(t_n + t_{ст})} \quad (3)$$

В выражение (3) входит отношение скорости ультразвука в жидкости $c_{ж}$ к синусу угла между вертикалью и направлением распространения колебаний $\alpha_{ж}$, которое в соответствии с законом Снеллиуса [4] равно

$$\frac{c_{ж}}{\sin \alpha_{ж}} = \frac{c_n}{\sin \alpha_n} = f(\alpha_n, c_n) = \text{const} \quad (4)$$

Здесь c_n — скорость ультразвука в материале призмы ЭП; α_n — угол между вертикалью и направлением ввода ультразвуковых колебаний в стенку трубопровода, который равен углу призмы ЭП.

С учетом (4) (3) можно записать в виде

$$V = \frac{f(\alpha_n, c_n) \cdot (t_2 - t_1)}{t_2 + t_1 - 4(t_n + t_{ст})} \quad (5)$$

Соответственно умножив (5) на площадь поперечного сечения трубопровода, определим расход Q как

$$Q [м^3/ч] = 900 \cdot S_{г} \cdot \Pi \cdot D^2 \cdot V \quad (6)$$

Здесь $S_{г}$ — величина, обратно пропорциональная гидродинамическому коэффициенту, зависящему от профиля [3].

Таким образом, измерив t_1 и t_2 и зная параметры призмы ЭП и стенки трубопровода, из соотношения (6) можно определить расход жидкости.

Принципы работы ультразвукового доплеровского расходомера

Известно [2, 4], что, если точечный рассеиватель (рис. 10), движущийся вдоль оси трубы со скоростью V ,

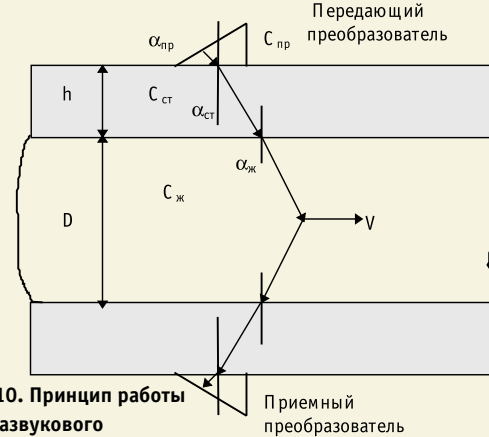


Рис. 10. Принцип работы ультразвукового доплеровского расходомера

облучается под углом $\alpha_{ж}$ к вертикали сигналом с частотой ω_0 , то частота ω_d принятого эхо-сигнала определяется соотношением:

$$\omega_d = \omega_0 \cdot \frac{1 - V \cdot \sin \alpha_{ж}}{1 + V \cdot \sin \alpha_{ж}} \cdot \frac{c_{ж}}{c_{ж}} \quad (7)$$

Разложив второй множитель в (7) в степенной ряд и взяв разность $\Delta\omega = \omega_d - \omega_0$, получим так называемый локационный вариант формулы эффекта Доплера:

$$\Delta\omega = 2\omega_0 \sum_{n=1}^{\infty} \left(\frac{V \cdot \sin \alpha_{ж}}{c_{ж}} \right)^n$$

Как правило, $V \ll c_{ж}$, поэтому можно ограничиться линейным приближением

$$\Delta\omega = 2 \cdot \frac{\omega_0 V \cdot \sin \alpha_{ж}}{c_{ж}} \quad (8)$$

В силу соотношения (4) из выражения (8) следует, что

$$V = \frac{\Delta\omega \cdot f(\alpha_n, c_n)}{2\omega_0} \quad (9)$$

т. е. величина доплеровского сдвига прямо пропорциональна скорости рассеивателя V .

В реальных условиях в формировании сигналов объемного рассеяния принимает участие совокупность рассеивателей различной природы, случайно расположенных в пространстве. В этом случае понятие «доплеровское смещение» сменяется концепцией «доплеровского спектра», отражающей распределение принятой энергии как функции радиальных скоростей рассеивателей. Для того чтобы можно было пользоваться соотношением (9) в реальных расчетах, достаточно под величиной $\Delta\omega$ подразумевать центр тяжести спектра отраженного сигнала. ●