

## ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ ЭЛЕКТРОННО-АКУСТИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ ИЗМЕРЕНИЯ РАСХОДА

В.М. Паршин, А.Ю. Максимов

Самарский государственный технический университет, г. Самара

По объему добычи нефти Россия занимает лидирующее положение в мире. Располагая огромными невозполнимыми природными ресурсами, важно развивать их рациональную переработку и использование. Очень важны вопросы обновления технической базы. В частности, наблюдается острый дефицит приборов, решающих задачу одновременного измерения расхода, а так же измерения двух важнейших показателей качества – вязкости и плотности. Для этих целей в большинстве случаев необходимо использование сразу нескольких приборов – расходомера, вискозиметра, ареометра или пикнометра. Автоматическая комплексная обработка данных с этих приборов вызывает определенные затруднения, поскольку не все эти приборы имеют цифровые выходы, а, чаще всего, являются механическими. Требуется так же дополнительное вычислительное устройство для комплексной обработки полученных в результате измерения данных.

Авторами предложен комплексный прибор измерения расхода, плотности и вязкости нефтепродуктов (КПИ) [4]. Суть его работы заключается в следующем. На рис.1 приведена структурная схема КПИ с накладными датчиками. КПИ включает в себя два электроакустических преобразователя (ЭП), монтируемых с внешней стороны трубопровода по Z-схеме и электронный блок, выполненный на базе микроконтроллера. Цикл измерения, инициируемый микроконтроллером, 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, а так же измеряется коэффициент пространственного затухания  $\alpha$ . Определение времени распространения сигнала осуществляется в блоке измерения временных интервалов, с выхода которого оценка времени  $t_1$  поступает в микроконтроллер. Далее по команде микроконтроллера направление излучения меняется на противоположное и повторяется описанная процедура измерения времени распространения сигнала  $t_2$  против потока.

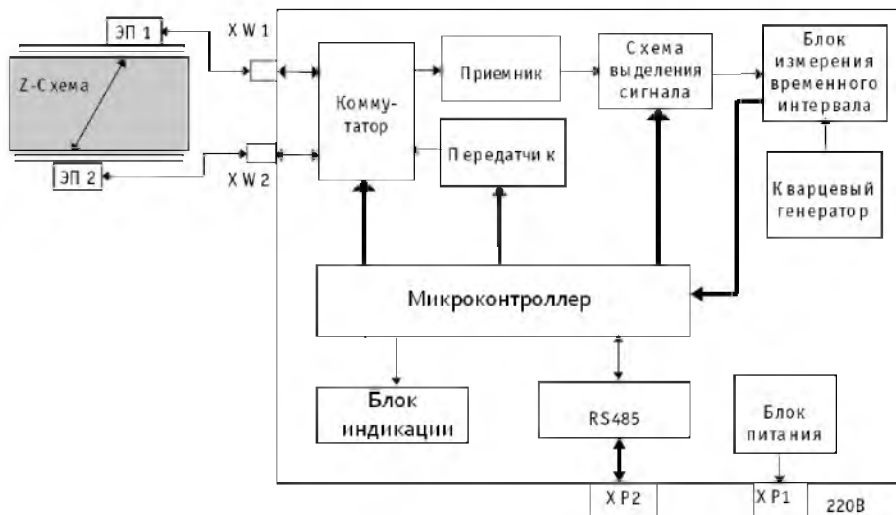


Рис.1. Структурная схема КПИ «Волна-821»

На этом цикл измерения завершается, и микроконтроллер осуществляет расчет текущего значения массового расхода жидкости  $G_M$  в соответствии с выражением (1):

$$G_M = \frac{\pi D^2}{4} * \frac{\tau}{l \beta \cos \alpha} * \frac{n}{2n+1} * K_h, \quad (1)$$

где  $\tau$  - разность времени прохождения ультразвуковых импульсов по потоку и против потока,  $n$  - коэффициент, учитывающий профиль потока жидкости,  $K_h$  - калибровочный коэффициент,  $\beta$  - коэффициент адиабатической сжимаемости жидкости,  $D$  - диаметр трубопровода.

Затем в микроконтроллере происходит вычисление динамической вязкости жидкости по формуле:

$$\eta = \frac{3\rho c^3}{2Dw^2} \ln \frac{U}{U_0} * K_T * K_P, \quad (2)$$

где  $D$  - расстояние между пьезоэлектрическими преобразователями, равное диаметру трубопровода,  $U_0$  - амплитуда электрического напряжения снимаемого с приемного пьезопреобразователя при  $D=0$ ,  $U$  - амплитуда электрического напряжения снимаемого с приемного пьезопреобразователя при  $D>0$ ,  $K_T$  - коэффициент, учитывающий поправку на температуру

жидкости,  $K_p$  – коэффициент, учитывающий поправку на давление жидкости.

Затем в микроконтроллере происходит вычисление плотности жидкости по формуле:

$$\rho_4^{20} = \beta U_0^2 + \gamma(T - 20), \quad (3)$$

где  $\gamma$  – средняя температурная поправка плотности на  $1^\circ\text{C}$ ,  $T$  – температура жидкости.

Вычисленные в микроконтроллере значения массового расхода, плотности и вязкости нефтепродуктов могут быть отображены индикаторным устройством, переданы в ЭВМ по протоколу RS-485 или помещены в архив на внешнюю микросхему памяти.

В разрабатываемом КПИ измерение расхода, плотности и вязкости нефтепродуктов являются косвенными, т.е. искомое значение величины находится по известной зависимости этой величины от величин, значения которых найдены прямыми измерениями. Проведенный автором метрологический анализ формул (1) – (3) дал следующие результаты.

Основная погрешность расходомера целиком определяются погрешностью фиксации разности времени прохождения ультразвуковых импульсов по потоку и против потока. Это является главным достоинством предлагаемого метода измерения расхода, поскольку в формулу (1) не входит значение скорости звука  $c$ . График зависимости абсолютной погрешности измерений от точности фиксации временного интервала для указанных нефтепродуктов показан на рис.2.

Дополнительными погрешностей при измерении массового расхода являются неправильный учет влияния профиля скорости; изменение скорости ультразвука в измеряемом веществе; паразитные акустические сигналы; асимметрия электронно-акустических каналов. Кроме этих источников, рассматриваемых далее, имеются еще погрешности, вносимые электронной схемой.

На рис.3 представлена зависимость коэффициента массового расхода от коэффициента шероховатости.

Основная погрешность плотномера целиком определяются погрешностью фиксации времени прохождения ультразвуковых импульсов перпендикулярно потоку. Основная погрешность вискозиметра определяются погрешностью фиксации времени прохождения ультразвуковых импульсов перпендикулярно потоку и погрешностью фиксации коэффициента затухания ультразвука.

На рис.4 представлен график зависимости абсолютной погрешности измерений вязкости керосина от точности фиксации времени  $t$  прохождения ультразвуком в нем расстояния между пьезоэлектрическими преобразова-

телями, равное диаметру трубопровода  $D$  и точности измерения коэффициента затухания  $\alpha$ .

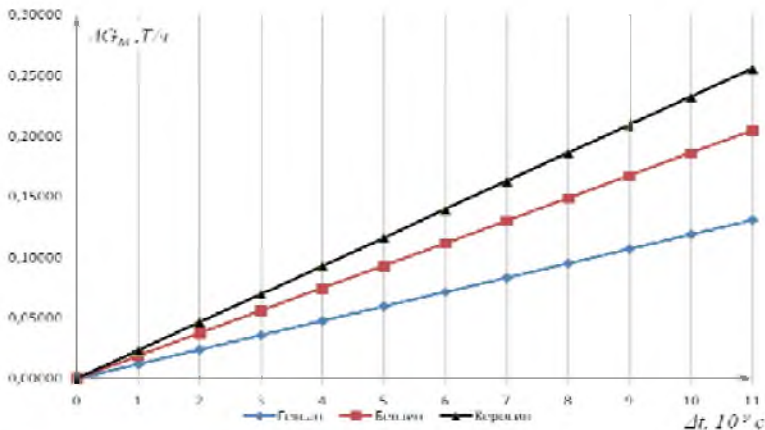


Рис.2. Зависимость абсолютной погрешности измерения массового расхода жидкости от погрешности измерения разности времени прохождения ультразвуковых импульсов по потоку и против потока

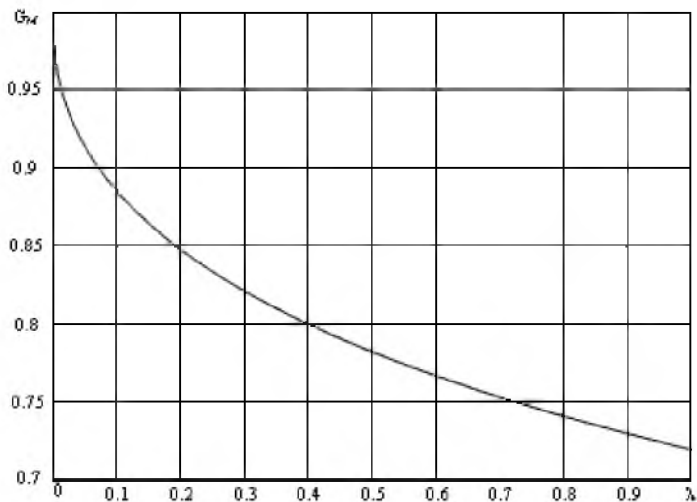


Рис.3. Зависимость массового расхода  $G_M$  от коэффициента шероховатости

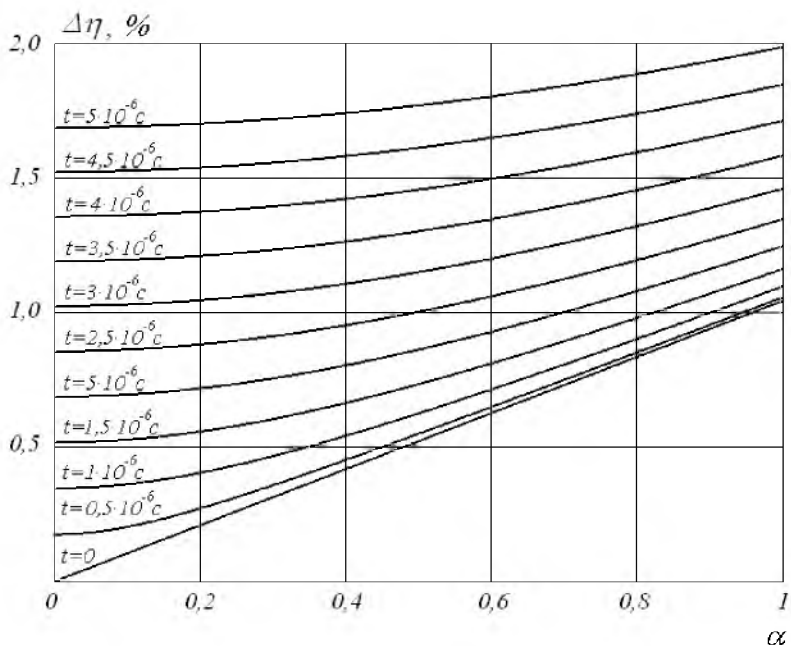


Рис.4. Зависимость абсолютной погрешности измерения вязкости жидкости от погрешности измерения времени прохождения ультразвуковых импульсов перпендикулярно потоку и погрешности фиксации коэффициента затухания ультразвука

Результаты проведенного автором метрологического анализа формул вычисления массового расхода, плотности и динамической вязкости представлены в табл.1.

Таблица.1. Метрологический анализ формул вычисления массового расхода, плотности и динамической вязкости в КПИ

Параметр	Основная погрешность, %	Дополнительная погрешность, %
Массовый расход $G$ , т/ч	0,05%	0,1%
Плотность $\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	0,1 %	0,3%
Динамическая вязкость $\eta$ , сСт	0,3 %	0,7 %

Приведенные в табл.1 и на рис. 1 - 4 значения получены при частоте зондирующих импульсов  $f = 2\text{МГц}$ , диаметре трубопровода  $D = 0,5\text{м}$ , числе Рейнольдса  $Re = 4 \cdot 10^3$ .

Сравнительный анализ известных конструкций электронных КПИ показал, что на современном уровне развития технологий и элементной базы перспективными являются электронно-акустические устройства, которые позволяют при прочих равных условиях минимизировать габариты и уменьшить цену. Так, стоимость разработанного автором КПИ «Волна-821» составляет всего 20 т.р. против 60 т.р. у аналога (прибор производства ЗАО «Взлет» Взлет МР УРСВ-110). Достигнута более высокая точность измерения массового расхода, плотности и вязкости жидкости по сравнению с аналогами, поскольку вычисления производятся с учетом профиля потока жидкости, коэффициента шероховатости трубопровода, температуры жидкости, а не по приближенным формулам.

Разработанный КПИ обладает следующими характеристиками:

Температура жидкости, °С.....	+5...+150
Давление жидкости в трубопроводе, МПа.....	0,1...1,6
Динамический диапазон измерения расхода.....	1:150
Вязкость жидкости, кг/(м·с).....	200...500
Плотность жидкости, кг/м <sup>3</sup> .....	600...1500
Длина прямого участка, для D=15...40 мм.....	не требуется
Длина прямого участка, до D=40...1600 мм.....	10
Длина прямого участка, после D=1600 мм.....	5
Масса электронного блока, кг.....	1
Напряжение питания прибора, В.....	220 (50Гц)

Заявленные характеристики подтверждены экспериментально.

#### Список использованных источников

1. Сворцов Б.В. Электрофизические устройства контроля качества углеводородных топлив. - Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва. Самара 2000.
2. Красильников В.А., Крылов В.В. Введение в физическую акустику М.: Наука, 1984.
3. Кремлевский П. П. Расходомеры и счетчики количества веществ, Кн 2, С-Пб.: Политехника, 2004.
4. Полезная модель RU №66029 от 04.09.2007, Комплексное устройство измерения расхода, плотности и вязкости нефтепродуктов // Паршин В.М., Сворцов Б.В.