

СТРУЙНЫЙ РАСХОДОМЕР-СЧЕТЧИК

Зюбин И. А.

Национальный исследовательский университет «МЭИ»

Перспективной с точки зрения надежности и безопасности эксплуатации при контроле потоков агрессивных, пожаро- и взрывоопасных веществ, а также жидкостей, содержащих абразивные включения являются струйные расходомеры и счетчики, действие которых основано на периодическом присоединении струи вязкой жидкости к твердой стенке [1], [2].

Одновременно с преимуществами, струйным расходомерам свойственны и недостатки класса гидродинамических расходомеров – чувствительность рабочей характеристики к изменению физических свойств измеряемой среды, что приводит к возникновению дополнительной погрешности. На практике наиболее распространенной причиной возникновения дополнительной погрешности является изменение температуры измеряемой среды в процессе измерения [2].

Количественным выражением качественного понятия «точность расходомера» является инструментальная погрешность расходомера. Инструментальная погрешность определяется нормируемыми метрологическими характеристиками расходомера, а именно, основной и дополнительной погрешностями. Основная погрешность имеет место в нормальных условиях эксплуатации средства измерения. Дополнительная погрешность возникает при изменении некоторых величин, называемых влияющими [3].

Современный уровень микропроцессорной техники позволяет измерять частотный сигнал, поступающий от датчика колебаний струи с пренебрежимо малой погрешностью по сравнению с общей погрешностью расходомера, таким образом, наиболее важной частью прибора с точки зрения его точности, является первичный преобразователь, в котором происходит преобразование расхода измеряемой среды в частоту колебаний струи жидкости. Частотно-модулированный сигнал формируется первичным преобразователем в виде импульсов давления сложной формы. Идеализированно, в зависимости от конструкции первичного преобразователя, можно представить генерируемый сигнал в виде прямоугольных или синусоидальных импульсов давления, частота следования которых пропорциональна измеряемому расходу, а амплитуда – динамическому давлению струи жидкости на датчик положения струи.

Для формирования взаимосвязи дополнительной погрешности струйного расходомера и температуры измеряемой среды применен традиционный метод – сравнивались безразмерные характеристики измеряемого потока жидкости [4]. В частности расходомер-счетчик, преобразователь которого показан на рис.1, был поочередно испытан на воде и керосине при стабилизированной температуре с известными величинами плотности и вязкости.

Первым из критериев подобия течения в первичном преобразователе струйного расходомера является число Рейнольдса (Re). Вторым критерием подобия является число Струхала (Sh).

Обозначим как $f_0(Q)$ рабочую характеристику струйного первичного преобразователя – зависимость частоты следования импульсов от величины проходящего расхода. Величина $f(Q)^{-1}$ представляет собой суммарное время, протекающее от одного момента одного переключения струи и прохождения сигнала по линии положительной обратной связи (ЛПОС) до другого.

В первичном преобразователе струйного расходомера для удобства представления геометрического подобия топологии первичных преобразователей в качестве линейного масштаба используется ширина сопла.

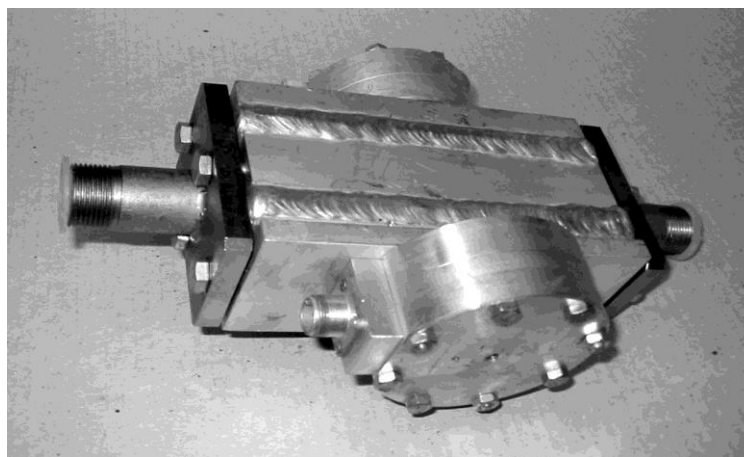


Рис.1. - Внешний вид первичного преобразователя струйного расходомера (рабочая среда – жидкая пропанобутановая смесь, расход до 70 л/мин, давление 15 атм.)

Назначенные критерии подобия позволяют для любой неизменной геометрии первичного преобразователя по известной рабочей характеристике, в частности, экспериментально полученной для нормальных условий, построить безразмерную рабочую характеристику вида $Sh(Re)$. Безразмерная рабочая характеристика позволяет решить обратную задачу – определить геометрию рабочей части первичного преобразователя при заданных нормальных условиях эксплуатации: типе жидкости (плотности и вязкости), величине расхода и заданной точности. На рис. 2 показана безразмерная характеристика испытанной проточной части. Совпадение результатов эксперимента на воде и керосине соответствовало точности экспериментальной установки.

Из анализа критериев подобия следует, что единственным фактором, определяющим влияние физических свойств измеряемой среды на размерную рабочую характеристику, является кинематическая вязкость. Плотность измеряемой среды не оказывает влияния на дополнительную погрешность струйного расходомера или счетчика. Однако, следует отметить, что плотность оказывает влияние на динамическое давление среды, которое фиксируется датчиком положения струи и влияет на диапазон измерения прибора, а именно на нижнюю границу диапазона измерения.

Инструментальной абсолютной погрешностью Δ струйного расходомера в режиме счетчика накопленного объема является объем жидкости или газа, который проходит через первичный преобразователь за время одного импульса.

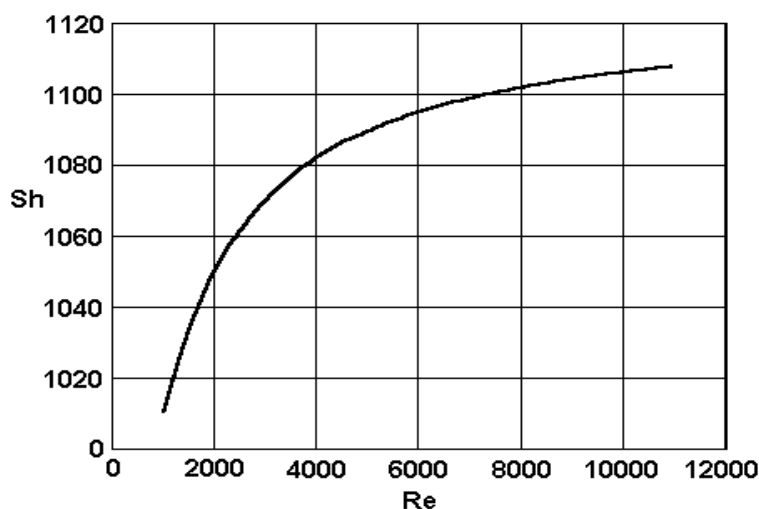


Рис. 2. - Безразмерная характеристика первичного преобразователя

Безразмерная характеристика позволяет определить рабочую характеристику проектируемого прибора на заданные размеры проточной части или и с учетом свойств реальной рабочей жидкости в нормальных условиях.

Рабочую характеристику струйного первичного преобразователя, полученную для условий отличных от нормальных обозначим как $f_T(Q)$. Для нормальных условий инструментальная погрешность равна основной погрешности. При нарушении нормальных условий, в частности при выходе температуры измеряемой среды за нормированный диапазон, инструментальная погрешность представляет собой сумму основной и дополнительной погрешностей. Очевидно, что дополнительная погрешность Δ_T за один импульс вычисляется как разность:

$$\Delta_T = Q f_0(Q)^{-1} - Q f_T(Q)^{-1} = Q [f_0(Q)^{-1} - f_T(Q)^{-1}].$$

Знание характера изменения разности $[f_0(Q)^{-1} - f_T(Q)^{-1}]$ от температуры позволяет ввести в блок преобразования сигнала функцию, корректирующую вид рабочей характеристики. Коррекция рабочей характеристики по температуре позволяет значительно снизить величину дополнительной погрешности расходомера на всем диапазоне возможных температур эксплуатации. При этом проявляется целый ряд негативных с точки зрения конкурентоспособности прибора факторов: происходит незначительное, но удорожание конструкции прибора, усложняется калибровка и поверка, несколько снижается надежность.

Предварительный анализ расчетных моделей процесса переключения струи показал, что при снижении вязкости потока фокус струи смещается выше по течению, что говорит о снижении эжекционной способности струи. Это приводит к падению перепада давления на линии обратной связи, с одной стороны и смещает точку присоединения струи к стенке ниже по течению с другой. Таким образом, наблюдаются два взаимно уничтожающих фактора – снижение уровня энергии в линии обратной связи и снижение энергии, потребной для переключения струи. В этом случае решающим фактором становится поведение потока в ЛПОС.

Предварительные исследования показали возможность существования такого взаимодействия струи и сигнала обратной связи, при котором влияние вязкости потока на частоту колебаний струи в достаточно широком диапазоне чисел Рейнольдса будет минимальным или вообще отсутствовать.

Второй особенностью струйных расходомеров является то, что возможно получения данных не только об объемном расходе, но и данные о плотности жидкости и подобные устройства позволяют проводить контроль массового расхода жидкости. Для реализации указанной функции необходимо измерить импульс струи.

При малых расходах импульс струи достаточно слабый, поэтому к усилительно-детекторному узлу, предъявляются особые требования с точки зрения надежности детектирования. Задача определения плотности перекачиваемой среды обусловила качественный пересмотр схемотехнического решения усилительно-детекторного узла, в качестве которого применен синхронный детектор, чем и обеспечен требуемый уровень надежности показаний прибора.

Список использованных источников

1. Рехтен А.В. «Струйная техника. Основы, элементы, схемы», М:Машиностроение, 1980
2. Касимов А.М., Климов А.Н. «Опыт разработки струйных расходомеров», Институт проблем управления и автоматики. Всероссийское совещание, Москва, 1998 г.
3. Куликовский К.Л., Купер В.Я. «Методы и средства измерений», М:Энергоатомиздат, 1986 г.
4. Шенк Х. «Теория инженерного эксперимента», под ред. Бусленко Н.П., М:МИР 1972 г.