



ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ СОВРЕМЕННЫХ РАСХОДОМЕРОВ

А.Н. Крошкин (ООО "Энддресс+Хаузер")

В номере 10 за 2004 г. была опубликована статья, посвященная приборной концепции PROline, в рамках которой разрабатывается современное семейство расходомеров компании Endress+Hauser. Были рассмотрены основные компоненты данной концепции: сенсоры, трансмиттеры и средства инструментальной поддержки – и показано, что максимальная сегментация физического уровня, унификация электронных модулей и наличие аппаратной и программной поддержки на всех этапах жизненного цикла приборов обеспечивают наилучшее их соответствие требованиям пользователя. Данная работа представляет собой развитие затронутой тематики и посвящена реализации в современных расходомерах дополнительных функций, зачастую нетрадиционных для этого класса приборов. Естественно, что ограниченный объем статьи не позволяет дать полный обзор всех моделей и доступных вариантов их исполнения, такую информацию можно найти в технической сопроводительной документации. Мы же рассмотрим только несколько наиболее интересных примеров, характеризующих уровень развития данного класса приборов и расходометрии в целом, причем сделаем это в наиболее популярной форме, не злоупотребляя техническими спецификациями.

Измерение концентрации с помощью массового кориолисова расходомера PROline Promass

Как известно, кориолисов расходомер физически измеряет три параметра: массовый расход, плотность среды и ее температуру. На основании трех физических измерений процессором прибора могут рассчитываться ряд дополнительных величин и параметров, например, объемный расход, приведенная плотность, приведенный объемный расход и другие, но наиболее интересной является функция измерения (расчета) концентрации, потому что с ее помощью может решаться целый ряд интересных и важных практических задач. Например, можно покомпонентно измерить расход двухфазной жидкости, концентрацию сахара в растворе, плотность нефтепродукта, плотность исходного сусла в пивоварении, концентрацию кислоты, содержание жира в молоке и т.п. Соответственно можно сосчитать накопленный объем или массу (принтегрировать) одного или обоих компонентов двухфазной среды на токомайзере, а также вывести расход компонента на токовый выход. Наиболее интересный пример использования этой функции кориолисового расходомера связан с измерением количества чистого алкоголя на ликероводочном производстве. Расходомер, установленный на разливочной линии, выполняет функцию счетчика массы чистого алкоголя, которая затем используется для целей налогообложения. В ряде случаев, для трубопроводов большого диаметра, измерение концентрации по экономическим соображениям нецелесообразно совмещать с измерением расхода. Тогда кориолисовый расходомер небольшого диаметра устанавливается в байпас.

Реализацию функции измерения концентрации в массовом расходомере рассмотрим на примере изделия PROline Promass 83 компании Endress+Hauser. Данная функция является опционально заказываемой, а специализированное ПО для ее поддержки

имплементируется в прибор с помощью сменного модуля памяти F-CHIP. Данное ПО поддерживает три основных алгоритма:

- расчет процентного содержания, а также массового и объемного расхода компонентов (несущего и целевого) в любой двухфазной среде: %-MASS, %-VOLUME. Например, в сахарном сиропе несущей средой является вода, а целевой – сахар;
- преобразование реальной плотности среды в специальные стандартизованные единицы: °BRIX, °BAUME, °API, °BALLING, °PLATO, %-BLACK LIQUOR;
- определяемая пользователем функция концентрации в режиме FLEXIBLE.

В первом случае, когда мы используем функцию для двухфазной среды, определяется массовый или объемный процент несущего или целевого компонента согласно соотношениям:

$$\text{MASS} [\%] = \frac{D2 \cdot (\rho - D1)}{\rho \cdot (D2 - D1)} \cdot 100\%;$$

$$\text{VOLUME} [\%] = \frac{(\rho - D1)}{(D2 - D1)} \cdot 100\%, \quad (1)$$

где $D1$ и $D2$ – плотность несущей и целевой среды; ρ – измеряемая плотность двухкомпонентной среды.

В различных видах индустрии зачастую используются стандартизованные единицы плотности или концентрации. В пищевой промышленности и производстве напитков широкое распространение получили °BRIX, которые характеризуют содержание сахара в водных растворах, например, в фруктовом соке. Эти единицы рассчитываются согласно таблице ICUMSA и не могут применяться для растворов, отличных от водяных. В химической промышленности применяются °BAUME, определяющие плотность кислотных растворов. Существует две отдельных шкалы °BAUME для растворов легче и тяжелее воды:

$${}^{\circ}\text{BAUME} = \frac{144,3}{\rho} - 144,3 \quad \text{для } \rho < 1 \text{ кг/л,}$$

$${}^{\circ}\text{BAUME} = 144,3 - \frac{144,3}{\rho} \quad \text{для } \rho > 1 \text{ кг/л.}$$

В пивоварении наиболее распространен показатель плотности ${}^{\circ}\text{BALLING}$ (PLATO), значение 1°BALLING соответствует плотности раствора, полученного путем растворения 1 кг тростникового сахара в 99 кг воды. В Северной Америке для характеристики плотности жидких нефтепродуктов широкое распространение получили ${}^{\circ}\text{API}$. По давно всеми забытой причине ${}^{\circ}\text{API}$ рассчитываются по формуле:

$${}^{\circ}\text{API} = \frac{141,5}{\rho_{\text{rel}}} - 131,5,$$

где $\rho_{\text{rel}} = \frac{\rho}{\rho_{\text{water}}}$ – отношение плотности продукта к плотности воды.

Для воды $\text{API}=10^{\circ}$, и чем больше величина плотности в ${}^{\circ}\text{API}$, тем легче соединение. Проценты %-BLACK LIQUOR типично применяются в целлюлозно-бумажной промышленности и рассчитываются по аналогичной (1) формуле.

При работе со всеми стандартными функциями концентрации необходимо дополнительно задать значение нормальной (опорной) температуры (за исключением ${}^{\circ}\text{BRIX}$), а также линейный и квадратичный коэффициенты объемного расширения рабочей среды (в случае %-MASS или %-VOLUME – коэффициенты расширения как для несущей, так и для целевой среды).

В ряде случаев, когда стандартные показатели концентрации не могут быть использованы либо их использование неудобно, пользователь может определить собственную функцию "концентрация/плотность+температура", перейдя в режим FLEXIBLE. Для этого есть две возможности. Первая – это использование стандартной двумерной зависимости (режим %-MASS 2D или %-VOLUME 2D). В этом случае концентрация рассчитывается согласно формуле:

$$C = A0 + A1 \cdot \rho_{\text{ref}} + A2 \cdot \rho_{\text{ref}}^2 + A3 \cdot \rho_{\text{ref}}^3 + A4 \cdot \rho_{\text{ref}}^4, \quad (2)$$

где C – концентрация; ρ_{ref} – приведенная плотность среды, "измерение" которой реализуется в рамках стандартного набора функций прибора.

Для того, чтобы "измерение" ρ_{ref} было возможно, опорная температура, а также линейный и квадратичный коэффициенты расширения среды должны быть введены в систему. На самом деле физически измеряется не приведенная, а реальная плотность среды ρ при рабочей температуре T , а ρ_{ref} при известных коэффициентах и опорной температуре T_{ref} находится из уравнения:

$$\rho_{\text{ref}} = \frac{\rho}{1 + \alpha \cdot (T - T_{\text{ref}}) + \beta \cdot (T - T_{\text{ref}})^2}.$$

Другая возможность для пользователя – это задание трехмерной функции концентрации в рамках режимов %-MASS 3D или %-VOLUME 3D. В этом случае выражение (2) дополняется "температурными" членами:

$$C = A0 + A1 \cdot \rho_{\text{ref}} + A2 \cdot \rho_{\text{ref}}^2 + A3 \cdot \rho_{\text{ref}}^3 + A4 \cdot \rho_{\text{ref}}^4 + B1 \cdot T + B2 \cdot T^2 + B3 \cdot T^3. \quad (3)$$

Коэффициенты для выражений (2) и (3) могут быть рассчитаны пользователем на основании лабораторных или справочных данных с помощью специальной программы, реализованной в среде Excel, с помощью программного пакета FieldTool компании Endress+Hauser, а также любыми другими доступными средствами.

Теперь несколько слов о точности "измерения" концентрации. На интегральную точность (более современный термин – неопределенность) влияет точность физических измерений ρ и T , а также качество аппроксимации (2) или (3). Точность аппроксимации, в свою очередь, зависит как от качества исходных табличных данных, так и от применяемых методов восстановления зависимости по этим данным. Если оставить в стороне математические аспекты, то самое непосредственное влияние на расчет концентрации оказывает измерение плотности. В ряде случаев бывает целесообразно заказать дополнительную спецкалибровку прибора по плотности. Если при стандартной калибровке прибор измеряет плотность с погрешностью $0,01 \text{ г/см}^3$, то при спецкалибровке достигается точность порядка $0,001 \text{ г/см}^3$ в диапазоне плотностей $0,8 \dots 1,8 \text{ г/см}^3$ и диапазоне температур $0 \dots 80^{\circ}\text{C}$. В качестве альтернативы относительно дорогостоящей процедуре спецкалибровки можно рассматривать так называемую "полевую" калибровку, которую пользователь может выполнить самостоятельно. Недостатком "полевой" калибровки является то, что точность измерения плотности можно реально повысить только в небольшой области на плоскости "плотность/температура", а не во всем рабочем диапазоне.

Измерение вязкости среды с помощью массового кориолисова расходомера PROline Promass

Измерение вязкости рабочей среды является неотъемлемой частью контроля качества многих ТП. Известно множество различных конструкций вискозиметров, в основном ротационного типа, которые используют явление зависимости прикладываемой к вращающемуся элементу силы от взаимного трения между слоями жидкости. Данные приборы являются лабораторными и работают с предварительно отобранными пробами рабочей среды. Соответственно результаты таких измерений могут быть получены только в режиме постобработки по прошествии некоторого времени с момента отбора пробы. В то же время для ряда ТП, особенно в пищевой промышленности, когда вязкость является показателем качества продукта, очень важно непосредственное измерение в режиме "in-line". Такое измерение позволяет осуществлять мониторинг процесса и принимать решения в масштабе РВ. Известно несколько конструкций проточных "ин-лайновых" вискозиметров, но все они, как правило, имеют движущиеся элементы конструкции в процессе и, как следствие, жесткие ограничения по скорости потока и малый рабочий диапазон.

Компанией Endress+Hauser несколько лет назад был разработан уникальный сенсор Promass I с одной прямой измерительной трубкой, в конструкции которого была использована запатентованная балансировочная система TMB™ (рис. 1). Измерительная трубка, приводимая в движение относительно массивного маятника, помимо поступательного имеет также вращательный компонент движения. Поскольку амплитуда колебаний должна поддерживаться неизменной, для скручивания трубы с более вязкой жидкостью приходится приложить усилие большее, чем с менее вязкой жидкостью. Мощность, потребляемую в цепи возбуждения измерительной трубы, оказалось возможным сопоставить со значением вязкости рабочей среды. Таким образом, впервые в мировой практике удалось реализовать поточное измерение вязкости с помощью кориолисового расходомера. Функция измерения вязкости реализуема только для жидкостей и является опционально заказываемой. При этом завод-изготовитель просит заказчика прибора заполнить специальный опросный лист, в котором содержатся сведения об особенностях рабочей среды и ожидаемом диапазоне рабочих вязкостей.

Рассуждая об измерениях вязкости, следует различать два основных вида рабочих сред – ньютоны и неニュтоны жидкости. В первом случае, возможно так называемое абсолютное измерение вязкости, во втором – речь может идти только о мониторинге процесса. Вязкость неニュтоновской жидкости, как известно, является функцией скорости ее движения, поэтому абсолютные значения лабораторных и поточных измерений могут существенно расходиться. В данном случае можно наблюдать только качественную картину изменения вязкости. Если же среда является ньютоновской жидкостью, то с помощью расходомера Promass I возможно измере-

ние вязкости с относительной погрешностью $\delta = \pm(5\% + 0,5cP)$. Подобная точность подтверждена многочисленными испытаниями, результат одного из которых приведен на рис. 2. Естественно, что погрешность 5% не может быть достаточной для глубокого контроля качества, в данном случае правильнее вести речь о технологическом контроле или контроле процесса.

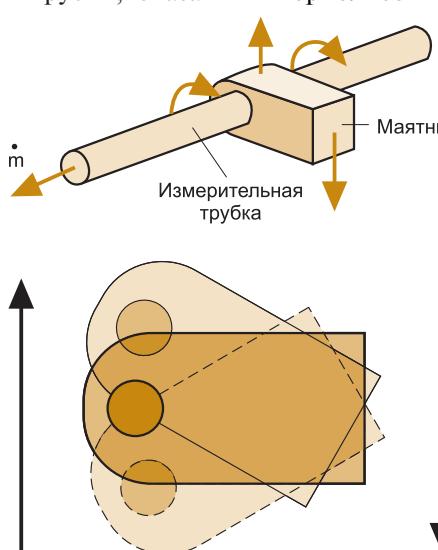


Рис. 1. Конструкция сенсора Promass I

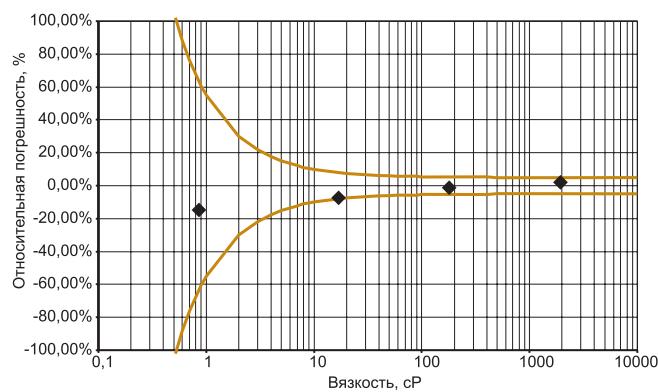


Рис. 2. Погрешность измерения вязкости расходомером Promass 83

Дозирование с помощью индукционного или кориолисового расходомера

В индукционных расходомерах PROline Promag 53 и кориолисовых расходомерах PROline Promass 83 реализована дополнительная функция дозирования. ПО, поддерживающее эту функцию, как и в случае с концентрацией, является опционально заказным и находится в специальном модуле памяти F-CHIP. Данная функция позволяет организовать так называемое бесконтроллерное дозирование. Выходная электроника расходомера, имеющего функцию дозирования, снабжена дополнительными релейными выходами, которые служат для непосредственного управления запорной арматурой. Таким образом, электроника расходомера выполняет функции дозирующего контроллера. Такое решение

оправдывает себя там, где нет и не планируется внедрение АСУТП, а с экономической точки зрения реализация дополнительной функции в расходомере значительно дешевле, чем установка специализированного дозирующего контроллера.

В расходомерах Promag и Promass реализовано двухуровневое дозирование с помощью двух реле. Одно из них управляет "грубым" клапаном большого диаметра, другое – "точным" клапаном меньшего диаметра, установленным в байпасе. Вместо клапанов дополнительными устройствами в дозировочных системах могут быть и насосы, в этом случае реле управляют процессом пуска/останова насосов.

Электроника расходомера хранит в памяти до шести предустановленных режимов дозирования. Каждый такой режим имеет свои персональные установки такие, как размер дозы в соответствующих единицах (масса, объем, приведенный объем), компенсационное количество, режим компенсации, индивидуальные установки клапанов (момент открытия, закрытия в % от дозы). Компенсационное количество призвано компенсировать разницу между заданной и реальной дозой, которая возникает из-за динамики работы клапанов. Оно может быть как фиксированным, так и динамически рассчитываемым самим расходомером по результатам реальной работы. Если в кориолисовом расходомере одно-

временно с функцией дозирования реализована и функция расчета концентрации (см. выше), то можно назначить дозу по несущему или целевому компоненту среды. Например, можно дозировать находящийся в растворе сахар, чистую кислоту, чистый спирт и т.п.

В качестве примера рассмотрим реализацию задачи двухуровневого дозирования 10 кг некоторой жидкости (рис. 3). В начальный момент времени оба клапана – грубый V_2 и точный V_1 – открываются одновременно. После достижения 8 кг (80% от дозы) грубый клапан закрывается, а долив дозы продолжается через точный клапан. При достижении заданной дозы 10 кг точный клапан также закрывается. Количество x представляет собой превышение дозы (перелив). Этот перелив может быть устранен как статически путем задания прибору компенсационной поправки на дозу (например, -0,4 кг), так и динамически, когда прибор сам рассчитывает время упреждения по результатам предшествующих N циклов дозирования. В момент прохождения 9 кг расходомер генерирует специальное сообщение о приближающемся окончании дозирования. Это может быть полезно при длительных циклах налива для сигнализации об окончании процесса, подготовки к смене тары и т.п.

Измерение массового и квазимассового расхода вихревым расходомером PROline Prowirl

Среди многообразия различных типов расходомеров только два из них: кориолисовый и термально-массовый – измеряют массовый расход. При этом основным недостатком кориолисова расходомера остается его высокая стоимость, а термально-массовый принцип имеет ограниченную область применения. Все остальные приборы являются по сути объемными и реализуют в том или ином виде принцип "скорость \times сечение". Если для жидкостей, которые являются практически несжимаемыми, объемный расход в большинстве случаев приемлем, то для газа или пара он оказывается малоинформативен. Чтобы получить массу или приведенный объем газообразной среды (под газообразной средой будем понимать и водяной пар в том числе) необходимо использовать дополнительные датчики температуры, давления и специализированные вычислители.

На практике наилучшим образом зарекомендовали себя вихревые расходомеры, больше половины которых используется для пара или различных газов. Эти приборы имеют приемлемые точностные характеристики при высокой надежности и низкой стоимости. Кроме того, современные модели позволяют реализовать измерение квазимассового, а в ряде случаев и массового расхода газообразных сред. Рассмотрим ряд типовых примеров.

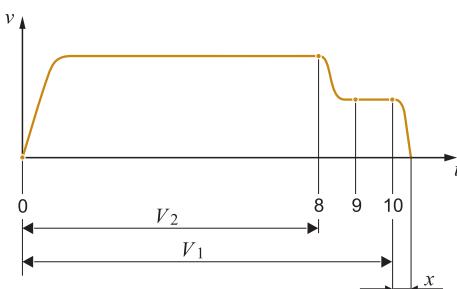


Рис. 3. Диаграмма процесса дозирования

1. Стабильные условия процесса. Подразумевается, что в технологической системе поддерживается постоянная температура и давление. В этом случае плотность среды также будет неизменной, и ее можно ввести в электронику преобразователя в виде константы.

Обычный вихревой расходомер PROline Prowirl 72, умножая измеренное значение объемного расхода на константу плотности, становится измерителем так называемого квазимассового расхода. Приставка "квази-" свидетельствует о том, что за отклонение условий процесса от номинала и соответственно за изменение плотности среды расходомер не отвечает. Недостатком описанной процедуры измерений является то, что в жизни таких применений практически не встречается.

2. Стабильное давление. Этот вариант встречается чаще, так как технологические системы со стабилизированным давлением газа или пара существуют. В этом случае можно использовать расходомер PROline Prowirl 73 со встроенным датчиком температуры и специальным матобеспечением для таких стандартных сред, как сжатый воздух, природный газ, перегретый пар. Пользователем также может быть специфицирован любой реальный газ. Прибор в этом случае будет измерять квазимассовый расход, так как он не может контролировать отличие реального давления среды от заданной константы. В настоящее время разрабатывается специальная модификация расходомера Prowirl 73 с возможностью подключения датчика давления. Так как сам прибор является двухпроводным, датчик давления невозможно подключить по цепи 4...20mA, поэтому будет использован HART-канал для считывания величины давления. В этом случае можно будет говорить об измерении массового расхода пара или газа комплектом "вихревой расходомер + датчик давления".

3. Насыщенный пар. Эта среда интересна тем, что представляет собой специфическое агрегатное состояние воды, при котором давление и температура взаимно определяют друг друга. В этом случае расходомер Prowirl 73, измеряя объемный расход и температуру, а также храня в памяти кривую насыщенного пара, имеет возможность напрямую рассчитать его массу. Таким образом, подобный прибор можно назвать массовым расходомером насыщенного пара. В свою очередь, масса пара и его температура являются достаточными данными для расчета тепловой энергии, поскольку таблицы энталпий также хранятся в памяти прибора. Таким образом, вихревой расходомер Prowirl 73 может также выполнять роль измерителя потока тепловой энергии и теплосчетчика.

Если условия реального процесса не подходят не под один из описанных выше частных случаев, необходимо инсталлировать традиционную систему "расходомер +

датчик давления + датчик температуры + вычислитель". В случае необходимости компания Endress+Hauser может быть поставщиком всего указанного набора, в том числе и специализированного вычислителя. В продуктовой линейке компании присутствует "пароводяной" вычислитель RMS621, а также более сложная модель RMC621, которая дополнитель но может работать с рядом стандартных газов, воздухом, природным газом, а также любым специфицируемым пользователем реальным газом. Один вычислитель может обслуживать до трех измерительных точек.

Если говорить о наборе датчиков с внешним вычислителем, то при комплексном рассмотрении показателей надежности, точности и стоимости в качестве альтернативы вполне может быть рассмотрен кориолисовый массовый расходомер. Если применение кориолисового расходомера для пара практически исключено из-за проблем с конденсатом, то его использование для газов (особенно для природного газа с учетом стоимости самого сырья) стало практически стандартом во многих европейских странах.

Использование возможностей Prowirl 73 не ограничено только паром и газами. Прибор допускает также задание плотности и коэффициента объемного

расширения для жидкостей, таким образом с его помощью можно измерять термокомпенсированный квазимассовый расход жидкости.

Заключение

В рамках небольшой журнальной статьи невозможно описать все нюансы конкретных инсталляций и настроек приборов. В каждом случае реальному применению предшествует выбор наиболее подходящего средства измерений и этап инженерной подготовки. Знание реальных возможностей современных датчиков во многих случаях помогает построить более надежную или более дешевую (другими словами – более эффективную) систему. Например, некоторая потеря в точности при переходе от массового к квазимассовому расходу может с лихвой компенсироваться экономическими выгодами при инсталляции вихревого расходомера взамен кориолисового. Измерительные возможности расходомеров позволяют избежать установки дополнительных плотномеров, вискозиметров, датчиков температуры, а в ряде случаев отказаться и от использования внешнего вычислителя или контроллера. Все это делает современный расходомер мощным средством промышленной автоматизации.

Крошкин Алексей Николаевич – канд. техн. наук, ведущий специалист ООО "Эндресс+Хаузер"

Контактный телефон (095) 783-28-50.

ОТОБРАЖЕНИЕ ПЛЮС УПРАВЛЕНИЕ

Операторские панели, ПЛК, промышленные системы ввода/вывода и программируемые реле электротехнической компании Moeller входят в серию приборов X-System, все устройства которой имеют отношение к цифровой обработке данных. Стремительно совершенствующаяся элементная база позволила разработать новые компактные и интеллектуальные приборы Moeller, которые совмещают сразу несколько функций. Компания Moeller представила на рынок операторские панели HMI-PLC, которые могут не только отображать информацию, но и выполняют функции контроллера. Усовершенствованные панели оператора HMI-PLC пользовались огромным успехом на выставке "Электро-2004" в Москве.

О новом поколении операторских панелей и его возможностях рассказывает инженер отдела технической поддержки российского представительства компании ООО "Моэллер Электрик" Александр Николаевич Попков.

Александр Николаевич, что можно сказать о возможностях операторских панелей компании Moeller?

Семейство операторских панелей фирмы Moeller пополнилось

ООО "Моэллер Электрик"

панелями типов HPG и XVC, которые выполняют не только функции визуализации, но и управления, традиционно относящиеся к функциям ПЛК. Такой тип панелей имеет общую классификацию HMI-PLC. Наряду с этими панелями Moeller выпускает традиционные операторские панели серий MI и MV.

Каким образом происходит диалог человека и машины?

Операторские панели HMI имеют не только разные размеры и разрешение, но и различные принципы построения. Компания Moeller представляет панели оператора трех исполнений – текстовые, графические и сенсорные. Текстовые панели отображают

на экране информацию в виде алфавитно-цифровых символов и снабжены кнопками для ввода/вывода данных. Графические панели также имеют кнопки, но отображают информацию в виде графических изображений. И, наконец, сенсорные панели не нуждаются в наличии кнопок, поскольку "чувствуют" прикосновения оператора. Но и среди сенсорных панелей есть возможность выбора. Это устройства с резистивной или инфракрасной

