

Наиболее важным параметром потоковых измерений является расход как численный показатель прямых производственных затрат на реализацию технологического процесса

А.В. Горобец,
gorobets@svaltera.kiev.ua



Рациональный учет

В практике сопровождения технологических процессов часто приходится сталкиваться с потоковыми измерениями, требующими:

- ▶ точности – для формирования несмещенной оценки исследуемой технологической переменной;
- ▶ износостойкости чувствительной части измерительной арматуры – для упрощения операций обслуживания;
- ▶ минимального времени переходного процесса между состояниями измерительного канала;
- ▶ оперативности математических вычислений при непрямых измерениях.

При использовании измерительной арматуры в потоковом режиме существенно меняются условия оценки, что связано с поведением среды (изменения температуры, вязкости или проводимости), ее содержанием (наличие газовых образований и взвешенных частиц) и характером поведения в потоке (распределение, образование вихревых потоков и т. д.).

До сих пор оправданием применения отечественных устройств измерения расхода в потоке считалась их низкая цена, высокая скорость гарантийного обслуживания и достаточная точность, которая обеспечивалась контролем качества в процессе изготовления и многочисленными стендовыми испытаниями.

Однако на сегодня не многие из отечественных изготовителей могут

себе позволить содержание сертифицированной лаборатории для контроля качества изделий. Заказ поверки устройств в государственной метрологической службе либо у конкурента – процедура не из дешевых. К тому же практически все комплектующие для сборки отечественных устройств имеют иностранное происхождение, где качество за дешево не купишь.

Вывод напрашивается сам. Собранное на отечественном предприятии устройство с одинаковыми с иностранными аналогами эксплуатационными и метрологическими характеристиками стоит дороже.

На сегодня на мировом рынке лидеры в производстве расходомеров – Emerson, Endress&Hauser, Schwing, Yokogawa, Heinrichs, KEM, Hosco-Honsberg, SIKA, ABB, Schmidt Mess-und Regeltechnik, Siemens, Kobold. И каждый год на отечественном рынке появляются новые бренды, сопровождение продукции которых в большинстве случаев является неполным (минимум технической документации, отсутствует центр сервисной и метрологической поддержки). Такое положение, наряду со значительной ценой каждой единицы продукции, не может не настораживать заказчика.

Далее в статье на примере продукции одного из лидеров рынка расходомеров и «законодателя мод» на нем – компании Kobold (www.kobold.com), будут рассмотрены особенности

различных технологий, реализуемых в современных расходомерах.

Ротаметры

Наиболее дешевыми, простыми и надежными являются расходомеры поплавкового типа, или ротаметры, которые используются для измерения небольших расходов жидкостей (до 100 м³/ч) и газов (до 860 Нм³/ч) в вертикальных трубопроводах (диаметром от 4 до 100 мм). Ротаметры могут иметь точность измерения, достигающую +/- 1% от всей шкалы измерения.

При использовании клапанов с электроприводом и шаровых исполнительных механизмов есть вероятность удара поплавка и седловины трубки ротаметра. Производитель Kobold постоянно ведет научные разработки по улучшению характеристик данного типа расходомеров. Так, уже в 1986 Klaus Kobold зарегистрировал патент «Поплавковый расходомер» (US № 04573361) на расходомер, конструкция которого позволяет получить точность измерения до 0,5% от шкалы диапазона в пределах измерения расхода 0,1-5 л/мин и до 1% при границах измерительного диапазона 2-20 л/мин и более. Конструкция расходомера была дополнительно усовершенствована в 2001 году компанией Kobold Messring («Расходомер» EP № 10507461) – улучшилась конструкция частей, ограничивающих верхнее

и нижнее положение измерительного поплавка. Теперь конструкция поплавковой камеры позволяет без залипания поплавка работать в жидкостях с дисперсностью частиц до 400 мкм.

В производстве таких расходомеров компания применяет химически устойчивые материалы – трогамид, полисульфон, хастеллой (коррозионно-устойчивый сплав). Элементы устройства двигаются в рабочей среде и не имеют жестких механических конструкций, износоустойчивы, меняют температуру вместе с рабочей средой, что вполне определяет уменьшение их загрязнения.

Обычно такие расходомеры снабжены релейным устройством с двумя устойчивыми состояниями в виде бесконтактного датчика, который реагирует на положение поплавка. Klaus Kobold разработал метод бесконтактного измерения позиции поплавка в камере поплавкового расходомера «Устройство для измерения через поток потенциально ненагруженного элемента» (US № 461105).

Часто используемые поплавковые расходомеры без компенсации изменения вязкости способны вызывать ошибки до 2500 % от действительного значения. При измерениях малых величин расхода относительно размаха измерения прибора также существует проблема значительной ошибки измерения (до 500 % от реального значения). Специальные конструкции расходомеров поплавкового типа Klaus Kobold («Метод и оборудование для измерения расхода», US № 04938078, 1990 г.) предусматривают компенсацию изменения вязкости среды для больших пределов изменения вязкости (1–540 мм²/с) и малых значениях расхода (до 0,1 л/мин), что так важно при изменении состава и температуры рабочей среды.

Применение цветных металлов и нержавеющей стали в конструкции поплавковой камеры позволяет использовать такие расходомеры в потоках с давлением до 350 бар. Недостатки ротаметров – необходимость их установки на вертикальных трубопроводах, непригодность для измерения расхода сред с высокими давлением и температурой.

Лопастные расходомеры

В конструкции расходомеров лопастного типа Kobold применяется подвижная система лопасти, что, в отличие от системы с гибкой лопастью, является более износостойкой конструкцией (система не меняет рабочих характеристик при остаточной деформации) и

менее чувствительной к неоднородности среды в потоке.

Такие расходомеры способны измерять расход чистых однородных жидкостей (до 4500 м³/ч) с небольшой вязкостью или газов (со скоростью потока до 9 м/с) и могут успешно использоваться при давлении среды до 25 бар и температуре до 120 °С.

Преимущества этих расходомеров – пружинный измерительный механизм, благодаря которому главный измерительный элемент не зависит от силы притяжения. Поэтому такие расходомеры можно монтировать в любом положении. Конструкция сменного сопла (в модели DPT) и лопасти Kobold позволяют повысить точность лопастного расходомера в используемых пределах измерения.

Привлекает также возможность монтажа такого устройства (рис. 1) непосредственно в стандартный тройник (ГОСТ 8949-75, ГОСТ 8948-75). Наличие пружины в устройстве негативно сказывается на линейности по диапазону измерений, а падение давления хотя и довольно велико, но все же меньше, чем при использовании диафрагмы.

Турбинные расходомеры

Еще один простой и надежный способ измерения расхода жидких и газообразных масс – использование лопастных турбинок, скорость вращения которых считается пропорциональной расходу. Klaus Kobold в 1986 году разработал свою конструкцию расходомера такого типа – «Устройство для измерения потоков газа или жидкости» (US № 04567777), где обеспечивается достаточно высокая точность измерения (до 1 % от диапазона), малая инерция в измерительном канале.

Такие устройства малочувствительны к физическим свойствам потока и не требуют при монтаже длинных линейных участков (10 x DN по входу и 5 x DN после устройства). Значительное гидравлическое сопротивление механической конструкции турбинного расходомера ограничивает спектр его применения.

Присутствие подвижных механических частей в непосредственном контакте со средой негативно сказывается на эксплуатационных характеристиках турбинных расходомеров. Характерные недостатки таких расходомеров – необходимость индивидуальной градуировки, а также то, что



Рис. 1. Благодаря пружинному измерительному механизму лопастных расходомеров главный измерительный элемент не зависит от силы притяжения

их показания в значительной степени зависят от плотности среды.

С уменьшением плотности снижается частота вращения турбинок и возрастает порог чувствительности [1]. Klaus Kobold в 1983 году работой «Компенсация инструментальной ошибки схемы измерения расхода» (US № 4581946) ввел поправочный коэффициент, который учитывает методическую ошибку измерения расхода и позволяет скорректировать показания расходомера для определенной рабочей среды.

Изменение пространственной ориентации меняет условия работы подшипников и поэтому может оказать влияние на градуировочную зависимость, особенно при малых расходах. Конструкция расходомеров Kobold обеспечивает незначительный момент трения в подшипниках от общего момента сопротивления, что позволяет производить замену износившихся элементов без проверки градуировки расходомера.

Условия работы опор весьма тяжелые – частота вращения турбинок доходит до нескольких сотен оборотов в секунду, поэтому такой тип расходомеров используется преимущественно для измерения жидких сред, которые обладают смазывающими свойствами.

В производстве контактных элементов турбинных расходомеров Kobold используются полимеры Rython для турбины, а для уплотнительных прокладок – полимеры PFM или Kalrez (зарегистрированная торговая марка E.I. Du Pont de Nemours & Co., Wilmington, USA), что позволяет сочетать высокую устойчивость к коррозии с низкой стоимостью устройства.

Расходомер на основе принципа Пелтона

Вопреки узкому динамическому диапазону, определяющему принцип работы тангенциальной турбины, Kobold предлагает широкий спектр моделей для разных значений жидких и газо-

вых потоков. Так, для малых расходов жидкостей (0,013–0,1 л/мин) существует расходомер на основе принципа Пелтона (рис. 3), использующий вакуум, образованный камерой Пелтона и основным потоком вещества.

Данный принцип также успешно работает с большими потоками среды (с трубопроводами до DN300), при измерении потоков газа, воды, конденсата, низковязких углеводородов и других химикатов. Устройство необходимо, когда при малых влияниях на поток нужно обеспечить высокую точность (0,2–1 % от диапазона измерения) и динамический диапазон (до 280:1) измерений с линейностью по диапазону измерений (до 1 %), при этом потеря напора в потоке меньше потери в турбинных расходомерах.

Установка расходомера требует горизонтального ориентирования труб, а также участка ламинарного потока, удаленного от устройства (за

материал, способный влиять на магнитное поле, созданное излучателем. Модели таких расходомеров у Kobold позволяют работать с жидкой средой при температуре до 135 °С и давлении до 345 бар и более. Рабочий цикл устройства без обслуживания – до 10 лет.

В малобюджетных решениях используются расходомеры с аксиальной турбинкой, подобной турбине Пелтона. Для изготовления лопастей используются полипропилен, полиоксимитилен, для изготовления оси вращения – сапфир или керамика.

Устройства с корпусом из нержавеющей стали позволяют использовать такие расходомеры при давлении до 100 бар. Обычно эти устройства применяются для измерения чистых жидкостей с малой вязкостью. Klaus Kobold зарегистрировал патент на конструкцию расходомера по способу бесконтактной передачи о расходе (Патент US № 05099699 «Индикатор расхода, или расходомер», 1992 г.).

Поскольку для бесконтактной системы считывания скорости вращения лопастей, как и у расходомера Пелтона, используется эффект Холла, необходимо, чтобы жидкости предварительно были очищены от металлических примесей, а также частиц ферромагнитных материалов. Для обеспечения предварительной очистки в потоке жидкости Kobold предлагает использовать магнитный фильтр MFR, которым устройство комплектуется по требова-

нию заказчика.

Конструкция расходомеров позволяет производить обслуживание по месту эксплуатации без демонтажа несущей части. Соответствует Директиве европейской комиссии по оборудованию, которое используется под давлением PED 93/27/ЕС и регламентирует использование устройства для работы с опасными жидкими веществами.

Еще одной инновацией является разработка расходомера с интегрированной заслонкой – «Дозирующее устройство и система для точного дозирования потока» (US № 05816448, 1998 г.). Такое решение позволяет уменьшить запаздывание реакции исполнительного механизма на изменение расхода, например при изменении давления в трубопроводе. Универсальный расходомер успешно используется в системах поддержания соотношения

компонентов, где основные требования предъявляются к соответствию технологическим рецептурам продукта.

Хорошие характеристики динамического диапазона 1–200 л/ч с точностью до 1 % от шкалы измерения при допустимых изменениях вязкости рабочей среды 5–100 мм²/с может обеспечить поршневой расходомер Kobold. Рабочие части из цветных металлов кроме долговечности устройства позволяют использовать расходомер при давлении среды до 40 бар. Счет расхода осуществляется бесконтактным датчиком на основе эффекта Холла. Подвижная конструкция поршневой системы создает значительно меньшую потерю напора в основном потоке измеряемого компонента.

Простота конструкции, отсутствие негативных эффектов в методике обеспечивают высокую точность даже в миниатюрных моделях с нижним пределом измерения 0,005 л/мин.

Так как для полного вращения поршней такого расходомера достаточно прокачать 0,01 см³ вещества, расходомер имеет встроенный фильтр для очистки среды от взвешенных частиц, с размером ячейки 40. Такой тип расходомеров имеет свое достойное распространение для измерения фармацевтических жидкостей, ароматизаторов в парфюмерии и пищевом производстве, жидких питательных веществ в биологических агрегатах, жидких газов в химическом производстве.

Шестеренные расходомеры

Для измерения расхода особо вязких масс (до 100 000 мм²/с) применяются шестеренные расходомеры, конструкция которых схожа с конструкцией ротационного насоса. Исполнение расходомеров Kobold с корпусом из нержавеющей стали позволяет работать под давлением до 630 бар и 150 °С. Под действием проталкиваемой массы в шестеренном расходомере вращаются шестеренки, образующие сплошную перегородку перед потоком вещества.

Для передачи информации о скорости потока используется и бесконтактная система, а в случае применения вращающихся шестеренок из керамики для передачи положения – эффект Холла (реакция на встроенный магнит). Если же применяются шестеренки из нержавеющей стали, то для индикации положения используется бесконтактный индуктивный датчик. Во избежание ошибки рекомендуется прибегнуть к предварительной магнитной фильтрации. Данная конструкция обеспечивает точность измерения до 0,3 % от измерительного диапазона, с откло-



Рис. 2. Лопастные расходомеры

24 x DN до и 5 x DN после). При изготовлении измерительного устройства используется нержавеющая сталь V4A Surpa с высокой физико-химической прочностью или титан.

Сама турбинка Пелтона выполнена из полипропилена с опорной осью из вольфрама и сапфира, что позволяет использовать устройство в контакте с такими химически активными веществами, как серная или соляная кислота. В 1996 году Manfred Wenzel передал Klaus Kobold права на конструкцию турбинки «Часть турбинки, содержащая встроенный элемент генерации импульсов» для бесконтактной передачи скорости вращения через пластиковую стенку расходомера (US № 05522268).

Так, для передачи механической работы в систему измерения в турбинку Пелтона встроен ферромагнитный

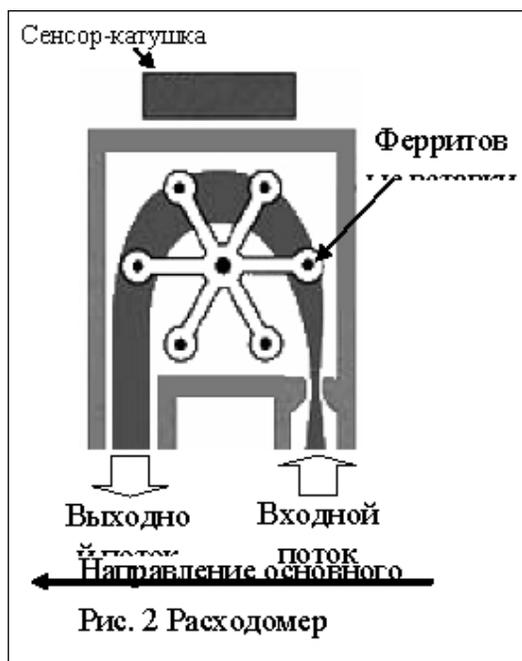


Рис. 3. Расходомер на основе принципа Пелтона используется для измерения малых расходов жидкостей

нением повторных результатов до 0,005 % при нижнем пределе измерения 0,008 л/мин.

Шестеренчатые расходомеры

Есть у Kobold и малобюджетные модели, где материалом корпуса и

вращающегося механизма выступает полиоксиметилен, а оси по-прежнему выполнены из нержавеющей стали. Шестеренчатые расходомеры получили широкое распространение в производстве горюче-смазочных материалов (гидравлические масла, смазочные вещества), полимерных компонентов, клеев, красителей и лаков.

Естественным недостатком шестеренных расходомеров есть высокий уровень рабочего шума (до 72 Дб), а также потеря напора при вращении шестерней, которая увеличивается с ростом вязкости рабочей среды. Проблему шума вполне решает использование винтовых расходомеров. Применение такого типа устройств позволяет получить меньшие потери потока при большом диапазоне изменения вязкости 1–5000 мм²/с.

Конструкция винтовых расходомеров рассчитана на измерение вещества с высокой плотностью и скоростью потока. Такой тип расходомеров применяется для высокоточного измерения расхода высоко-

вязких, а также подогреваемых жидкостей. Особенно широкое применение для лакокрасочных, дозирующих, нефтеперерабатывающих и клей-подающих установок.

Представленный модельный ряд Kobold обеспечивает верхний предел до 2000 л/мин. Роликоподшипниковая конструкция крепления вращающихся элементов расходомера Kobold позволяет минимизировать потери и при вращении винта. Конструкция винтового расходомера менее чувствительна к мелким частицам в веществе, чем турбинный или шестеренный расходомер, однако использование фильтра здесь также необходимо.

Благодаря исключительно высокой точности измерений расходомера (до 0,3 %) такая конструкция получила большую популярность среди лидеров рынка. Скорость вращения вращающихся частей измеряется бесконтактным индуктивным датчиком. Конструкция винтового расходомера Kobold вполне ремонтпригодна и не имеет «глухих» узлов. При сопровождении такого продукта у Kobold возможна замена датчика счета, подшипниковых опор вращающегося винта и уплотнительных прокладок, которыми изделия комплектуются по требованию заказчика.