

ющее иметь полный доступ ко всем функциям, включая диагностику, измерение концентрации и т.д.. Установка измерительного прибора и поиск неисправностей проходят благодаря этому крайне просто.

#### Опции

OPTIMASS 1000 предлагает пользователю также богатый выбор опций, которые обычно не встречаются у стандартных экономичных универсальных расходомеров. Сюда относится целый ряд гигиенических соединений для фармацевтической, пищевой промышленности и производства напитков. В будущем будут возможны полированные исполнения измерительной трубы с высоким качеством обработки поверхности.

Стандартная измерительная труба рассчитана на давление 100 бар и для этого имеются соответствующие фланцы. Стандартный внешний корпус рассчитан на 63 бар, однако возможна специальная версия на давление 100 бар. Это уникальная характеристика не только для приборов данного класса, но и для всего рынка кориолисовых расходомеров в целом. Немногие производители могут предложить сертифицированный внешний корпус данного вида. Этим гарантируется высочайший



Рис. 5. Типичная установка на химическом заводе

уровень безопасности прибора. Все сенсорные материалы, подверженные влиянию внешних атмосферных факторов, по желанию могут быть выполнены из нержавеющей стали 316 L. Это также относится и к корпусу преобразователя. В частности, эта опция обязательна в производстве напитков, фармацевтической и пищевой промышленности, где оборудование подвергается струйной очистке, а также на нефтяных платформах, где агрессивно влияние морского воздуха и воды.

Область применения данного прибора практически не знает границ. Как жидкости (точность 0,2 %), так и газы (точность до 0,75 %) могут быть измерены без проблем.

OPTIMASS 1000 представляет собой для конечного пользователя экономичный универсальный измерительный прибор высшей степени гибкости и многосторонности без каких-либо ограничений в отношении функциональности или производительности (рис. 5). Благодаря постоянным работам по разработке и инвестициям в область кориолисовых расходомеров KROHNE и дальше будет в состоянии предложить заказчиком продукты мирового уровня с гарантированным качеством и надежностью.

Контактный телефон (495) 911-71-65.

Email: [krohne@krohne.ru](mailto:krohne@krohne.ru)

## ПОВЕРОЧНЫЕ УСТАНОВКИ С ИЗМЕНЯЕМОЙ ВЯЗКОСТЬЮ РАБОЧЕЙ СРЕДЫ

В.П. Каргапольцев, А. В. Косолапов,  
А.А. Сиденко (ООО "ОКБ "Гидродинамика")

*Представлен подход к созданию испытательного и поверочного оборудования, позволяющего проводить весь комплекс работ над приборами измерения расхода и объема жидкости в условиях, максимально приближенных к эксплуатационным.*

При разработке приборов измерения расхода и объема жидкости, предназначенных для эксплуатации на ответственных объектах (например, в авиационной промышленности) возникает необходимость проведения испытаний на рабочей среде, отличной от воды и имеющей характеристики, максимально близкие к характеристикам той жидкости, объем и расход которой измеряются в реальных условиях эксплуатации приборов. В частности, в практике таких предприятий встречаются задачи, требующие измерения расходов и объемов вязких жидкостей. Приборный парк этих счетчиков и расходомеров-счетчиков поверяется, как правило, на обычной воде. Конечно, имея под рукой таблицы для пересчета показаний или выведенные ранее эмпирические зависимости, можно получить результат, приближенный к желаемому. Но, во-первых, такие данные и формулы нужно еще где-то и как-то получить. А, во-вторых, погрешность полученного таким образом результата может оказаться

неприемлемо высокой, ввиду его зависимости от слишком большого числа внешних не учитываемых факторов. Получение реальных зависимостей массового и объемного расходов при различных величинах вязкости рабочей жидкости возможно только при моделировании требуемых характеристик среды и натурных испытаниях средств измерений на ней. Таким образом, возникает необходимость изготовления испытательного и поверочного оборудования, позволяющего проводить весь комплекс работ в условиях, максимально приближенных к эксплуатационным.

Формулировка задачи сводится к изготовлению поверочного комплекса, имеющего практически применимые диапазоны воспроизведения вязкости и расхода. Для удовлетворения большинства задач диапазон изменения кинематической вязкости составляет 1,5·10<sup>-6</sup>...50·10<sup>-6</sup> м<sup>2</sup>/с (1,5...50 сСт), а диапазон воспроизводимых расходов – 0,01...50 м<sup>3</sup>/ч. При этом

достаточно, чтобы допускаемое предельное отклонение подготовленной поверочной среды по параметру кинематической вязкости от заданной находилось в пределах  $\pm 4\%$ , а ее измерение обеспечивалось с относительной погрешностью  $\leq \pm 2\%$  от предела измерений. Прочие характеристики поверочной установки обычны для данного типа оборудования: относительная погрешность при измерении объема (массы) весовым методом  $\leq \pm 0,05\%$ , относительная погрешность при измерении объема методом сличения  $\leq \pm 0,25\%$ , давление на входе измерительного стола в диапазоне воспроизводимых расходов  $\leq 0,63$  МПа, воспроизведение расхода в процессе поверки обеспечиваться с нестабильностью  $\leq \pm 2\%$ .

Естественно, основной вопрос, возникающий при проработке данной темы, — это выбор поверочной жидкости. От этого выбора во многом будет зависеть схема работы и конструкция поверочной установки, применяемое в ней оборудование, удобство и безопасность работы, наличие или отсутствие негативных воздействий на рабочие средства измерений и поверителя. Поверочная жидкость должна наиболее полно моделировать рабочую жидкость по параметрам кинематической вязкости, электрической проводимости, плотности и т.д., быть безопасной (то есть соответствовать четвертому классу опасности по ГОСТ 12.1.007-76), быть удобной в хранении и применении.

Классическим решением считается использование в качестве поверочной жидкости водно-масляной смеси с добавлением различного вида реагентов, улучшающих ее свойства. Такие жидкости представляют собой эмульсию, стабилизируемую от расслаивания поверхностно-активными веществами, с добавлением присадок, улучшающих эксплуатационные качества смеси. Этот способ хорошо известен, но также хорошо известны и его недостатки. Например, процесс приготовления подобных жидкостей связан с необходимостью интенсивного перемешивания составляющих его компонентов, чтобы получить пригодную для работы однородную смесь со "сроком жизни" превышающим хотя бы несколько десятков минут. Кроме того, полученная жидкость имеет строго определенное значение кинематической вязкости, и изменение этого параметра связано с серьезными технологическими сложностями, а порой и вовсе невозможно. Таким образом, для проведения программы испытаний (или поверки) в полном объеме и во всех контрольных точках требуется приготовление нескольких смесей с разными, заранее определенными характеристиками. Очевидно, что этот вариант не лишен набора недостатков.

Существует альтернативный подход к решению проблемы получения поверочной жидкости, не имеющей описанных ограничений. Он основан на известном факте, что вязкость большинства ньютоновских жидкостей изменяется в соответствии с экспоненциальной зависимостью при изменении их температуры, то есть без манипуляций с ее составом.

Этот способ гораздо удобнее в применении, однако ограничен рамками изменения температуры, предельно допустимыми для работы используемого в поверочной установке оборудования и поверяемых средств измерений.

При подготовке технико-экономического обоснования на разработку и изготовление поверочной установки, удовлетворяющей приведенным выше требованиям, специалистами ООО "ОКБ "Гидродинамика" был предложен синтетический вариант обеспечения требуемого диапазона кинематической вязкости. Вместо водно-масляной эмульсии, сложной в приготовлении и подверженной расслоению со временем на составляющие ее компоненты, предложено использовать химический раствор, не имеющий подобного недостатка. Одновременно с этим должен реализовываться и второй подход — корректировка имеющейся вязкости до необходимой посредством изменения температуры поверочной среды.

Серией проведенных экспериментов было установлено, что для перекрытия заданного условиями диапазона кинематической вязкости достаточно иметь пять заранее подготовленных растворов разной концентрации входящих в ее состав компонентов и возможность изменения их температуры в пределах  $30^\circ\text{C}$ . По сути, известную зависимость между кинематической вязкостью (напрямую связанную с концентрацией компонентов в растворе при нормальных условиях) и температурой мы используем, задаваясь процентным соотношением составляющих смеси как константой. Существенным достоинством такого метода является отсутствие необходимости постоянного приготовления смесей с различными требуемыми параметрами, то есть расходования исходных компонентов.

При этом процесс задания любого значения вязкости внутри требуемого диапазона будет происходить по следующей схеме. Рабочая емкость поверочной установки по указанию оператора в автоматическом режиме заполняется из одного из резервуаров готовой поверочной жидкостью в зависимости от имеющихся задач. После этого данная среда выводится на нужное значение кинематической вязкости корректированием температуры по одному из алгоритмов, сформированных на экспериментальных результатах исследования характеристик каждого конкретного раствора. При достижении раствором требуемых параметров, поверочная установка считается готовой к работе, а дальнейшие операции не отличаются от обычно проводимых и соответствуют методике поверки на каждый конкретный тип средств измерений. Немаловажными достоинствами подобной схемы являются полная автоматизация процесса замены поверочной жидкости и короткое время подготовки стенда к эксплуатации, которое не должно превышать одного часа. Стоит отметить и то, что в процессе работы характеристики поверочной среды (вязкость, температура, плотность и другие) контролируются в режиме РВ и могут в автоматическом режиме поддерживаться в рамках



заданной погрешности, что невозможно при использовании других схем моделирования.

Вторая сложность, которую предстоит решить разработчику подобного комплекса, связана с физическими свойствами вязкой среды, с которой предстоит работать. Один из основных аспектов заключается в пониженной способности подобной жидкости выделять содержащийся в ней воздух без образования пены. При проектировании следует предпринять исключаяющие пенообразование меры, которые должны касаться не только используемого в составе поверочной установки оборудования (в первую очередь насосов), но и конструкции всего канала прохождения жидкости в процессе работы в целом. Насосное оборудование должно применяться специализированное, допускающее перекачивание вязких сред, не вызывающее кавитационные процессы и вихреобразование. Трубная обвязка и другие элементы гидравлического тракта также не должны способствовать образованию вихрей в жидкости в процессе работы, не иметь острых кромок срыва потока, возмущающих поток элементов и зон критического падения давления. Учет особенностей поверочной среды и выполнение этих рекомендаций во многом исключит возможность "запенивания" жидкости. В случае необходимости, способность противостоять пенообразованию можно дополнительно усилить добавлением антипенной присадки, механизм действия которой состоит в понижении поверхностного натяжения жидкости, а следовательно, разрыву газовых пузырей на поверхности раздела сред и быстрому гашению образовавшейся пены.

В составе поверочной установки (рисунок), для сохранения неизменных параметров заранее подготовленных растворов, должна быть предусмотрена возможность полного слива жидкости из рабочей емкости с последующей ее промывкой. Этими мерами можно значительно увеличить число циклов использования поверочной жидкости и удлинить срок ее использования и следовательно, снизить эксплуатационные затраты на приобретение компонентов этих растворов. Однако полностью исключить поглощение влаги и газов из окружающего воздуха и "старение" раствора в целом невозможно, и его характеристики с течением времени могут незначительно меняться. Для их корректировки представляется удобным применять те же полученные эмпирические зависимости, связывающие концентрацию компонентов растворов, их кинематическую вязкость и температуру. Зная текущие значения вязкости, температуры и объема готовых смесей, можно с высокой степенью достоверности рассчитать концентрацию компонентов в растворе и их необходимое количество для добавления. Дозировано вводя одну или несколько составляющих раствора и создавая условия для их взаимодействия, можно предельно точно довести величину кинематической вязкости до первоначально заданной. Эту операцию легко автоматизировать, включив соответствующую функциональную возможность в имеющееся ПО, существенно упростив и облегчив тем самым работу оператора.

Из вышеизложенного можно сделать вывод о "жизнеспособности" и практической применимости описанного метода моделирования параметров рабочих сред. Совмещая достоинства обоих подходов задания требуемой вязкости поверочной жидкости, он лишен сопутствующих им недостатков. Выявленные сложности в разработке подобных поверочных комплексов не критичны и достаточно легко устранимы еще на этапе проектирования. Кроме того, применение данного способа моделирования эксплуатационных условий расходомеров (в части имитации параметров рабочей среды) позволяет существенно расширить функциональные и сервисные возможности поверочной установки, сократить текущие затраты на расходные материалы, максимально сократить время подготовительных операций и, следовательно, иметь возможность проводить на установке весь спектр исследовательских и поверочных работ.

*Каргапольцев Василий Петрович — заместитель директора по маркетингу,*

*Косолапов Александр Васильевич — заместитель директора по метрологии и развитию,*

*Сиденко Андрей Александрович — начальник конструкторского отдела ООО "ОКБ "Гидродинамика".*

*Контактный телефон (8332) 703 439. [Http://www.gidrodinamika.com](http://www.gidrodinamika.com); E-mail: [info@gidrodinamika.com](mailto:info@gidrodinamika.com).*

#### Уважаемые читатели!

Начинается подписка на журнал "Автоматизация в промышленности" на первое полугодие 2008 г.  
Оформить подписку Вы можете:

**В России** — индекс в каталоге "Роспечать" **81874** и  
"Пресса России" **39206**

**В Белоруссии, Казахстане, Узбекистане, Украине** —  
индекс в каталоге "Пресса России" **39206**

**Все желающие**, вне зависимости от места расположения, могут оформить подписку,  
прислав заявку в редакцию или заполнив анкету на сайте **[www.avtprom.ru](http://www.avtprom.ru)**