

для измерения микроконцентраций токсичных газов и оксидов азота (циркониевые), содержащихся в воздухе и дымовых газах, определения концентрации загрязняющих примесей при производстве чистых газов.

*Хроматографические газоанализаторы* предназначены для анализа многокомпонентных газовых смесей, состава жидкостей и твердых тел. Существует три разновидности хроматографического метода измерения, различающиеся способом перемещения анализируемой смеси: проявительный, фронтальный и вытеснительный. Первый метод является наиболее распространенным. В его рамках различаются разновидности, обусловленные процессом разделения смеси на компоненты: газоадсорбционный, газожидкостный и капиллярный.

#### Методы анализа состава жидкости

К числу наиболее распространенных методов анализа жидкостей, применяемых в промышленных анализаторах, относятся разновидности электрохимического, оптического и теплового методов, а также хроматографический, титрометрический, масс-спектрометрический.

*Электрометрические методы: кондуктометрический*, с помощью которого измеряют общую электриче-

скую проводимость, концентрацию диссоциирующего вещества в растворе, кондуктометрическое титрование; *потенциометрический* — измеряют концентрацию конкретных ионов (ионометрия), окислительно-восстановительный потенциал (редоксометрия), потенциометрическое титрование; *амперометрический и кулонометрический* — определяют концентрацию определенного вещества в растворе или расплаве.

*Оптические методы: колориметрический и пламенно-фотометрический* — определяют концентрацию определенного вещества в растворе или расплаве; *турбидиметрический и нефелометрический* — определяют концентрацию взвешенных частиц в суспензиях и эмульсиях.

*Тепловой метод — термокондуктометрический* — измерение концентрации растворенных газов.

Таким образом, кратко рассмотрены основные методы измерения температуры, давления, уровня, расхода, влажности и состава газов. Далее в разделе представлены промышленные измерительные приборы отечественного и зарубежного производства, базирующиеся на современных методах измерения: особенности конструкции, технические и метрологические характеристики, принципы измерения, преимущества, рекомендации по поверке, предпочтительные области применения и т.д.

## ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ КОМПЛЕКСА

### МНОГОПАРАМЕТРИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ДАВЛЕНИЯ, УРОВНЯ И РАСХОДА

**А.Л. Виноградов, С.А. Голь, К.С. Устинов (ООО "КБМТ")  
В.Е. Корнеев, Ю.Л. Виноградов (РГРТУ)**

*Рассматриваются вопросы проектирования и внедрения в серийное производство перспективного комплекса интеллектуальных многопараметрических приборов для измерения давления, уровня и расхода в теплоэнергетике и жилищно-коммунальном хозяйстве.*

Рассматриваемый комплекс предназначен для непрерывного измерения и преобразования в унифицированный токовый сигнал 4...20 мА, а также в цифровой код давления, расхода, уровня и температуры нейтральных и агрессивных сред. Области применения: в системах автоматического контроля, регулирования и управления ТП взрывобезопасных и взрывоопасных производств нефтегазовой, химической, металлургической, энергетической, пищевой и других отраслях промышленности, а также на объектах атомной энергетики и жилищно-коммунального хозяйства. В настоящее время для решения вышеуказанных задач используются отдельные приборы соответствующего назначения. Результаты их измерений обрабатываются ЭВМ для получения требуемых параметров. В работе предлагается унифицированный базовый прибор, позволяющий путем подключения к нему различных первичных измерительных преобразователей реализовывать расходомеры, уровнемеры, теплосчетчики. Использование комплекса в составе АСУТП освобождает ресурсы системы, в частности, память, используемую для хранения алгоритмов вычисления значений расхода, уровня и количества тепла, и время, затрачиваемое

на это вычисление. Объединение в одном компактном недорогом устройстве таких функций, как многопараметрические измерения, сложные расчеты, самодиагностика и др. делают комплекс идеальным решением для измерений, использующих различные типы первичных преобразователей. Поэтому разработка и серийное освоение принципиально нового для отечественного приборостроения и российского рынка комплекса многопараметрических преобразователей является актуальной задачей.

В настоящей работе рассматриваются следующие задачи:

- повышение точности приборов для широких пределов изменения измеряемых величин и возмущающих факторов;
- полная компенсация дополнительной температурной погрешности в условиях воздействия стационарных тепловых потоков;
- создание средств дистанционного управления и диагностики измерительных приборов на основе цифровых интерфейсов;
- расширение функциональных возможностей интеллектуальных многопараметрических ИП;

• разработка ПО для интегрирования измерительных приборов в цифровые информационные и управляющие системы, поддерживающие международные протоколы обмена.

В основу повышения точности измерительных преобразователей (ИП) положен структурно-алгоритмический метод компенсации погрешностей следящего уравнивания на основе функциональной коррекции [1]. Автоматическая компенсация погрешностей ИП использует адаптивно идентифицируемую на этапе градуировки многопараметрическую функцию коррекции. Реальная статическая функция преобразования ИП в режиме итерационной коррекции регулируется так, чтобы измеряемая при этом погрешность поддерживалась равной нулю. Технический результат достигается за счет методов повышения точности ИП на основе структурной и временной избыточности.

Доминирующим источником погрешности при измерении давления и расхода является нелинейность реальной статической функции преобразования измерительного блока, состоящего из упругой мембраны, деформирующейся под действием приложенного давления (разности давлений) и передающей перемещение на чувствительный элемент, изменяя электрическое сопротивление кремниевых тензорезисторов мостовой схемы. Для линеаризации функции преобразования измерительного блока предлагаются методы адаптивного моделирования и идентификации измерительного канала с использованием дополнительной информации о возмущающих воздействиях, т.е. на этапе градуировки приборов программа микропроцессора обучается на множестве эталонных значений измеряемой величины  $P = \{p_1, p_2, \dots, p_n\}$ , где  $n$  — число элементов множества зависит от величины нелинейности функции преобразования измерительного блока. Множество  $P$  служит основой для построения математической модели измерительного блока. Степень адекватности этой модели, в конечном счете, и определяет погрешность прибора в целом. В базовом комплексе приборов САПФИР-22МР для построения модели использовалась кусочно-линейная аппроксимация, которая не позволяла описать погрешность гистерезиса упругой мембраны. В данном проекте предлагается строить модель в виде поверхности с координатами "давление", "скорость изменения давления". Введение в модель второй координаты обеспечит минимизацию вариации показаний прибора. Подобный подход предполагает, что

*Лучше совсем не помышлять об отыскании каких бы то ни было истин, чем делать это без всякого метода.*

Рене Декарт

электронный блок близок к идеальному в смысле метрологических характеристик. Поэтому для исключения инструментальной погрешности электронных узлов предлагается применить астатические структуры с отрицательной обратной связью, обладающих в статическом режиме бесконечным коэффициентом усиления и использовать в измерительном эксперименте модифицированный метод замещения. Предложенное решение сформулировано в заявке на получение патента на предполагаемое изобретение: "Способ коррекции статических характеристик измерительных преобразователей и устройство для его осуществления". Экспериментальное исследование опытного образца показало возможность уменьшения основной приведенной погрешности до значения 0,075% на всех поддиапазонах измерения для стандартных измерительных блоков.

К задачам, связанным с принципиальными возможностями этого способа, можно отнести проблему устойчивости, а также выбор способа аппроксимации корректирующей функции и определение ее параметров [2].

Способ позволяет также уменьшить случайную составляющую погрешности за счет ее усреднения в результате интегрирования сигнала некомпенсации.

*Компенсация дополнительной погрешности в условиях нестационарных внешних воздействий* состоит в динамической коррекции влияния возмущающих факторов, прежде всего температуры, на особо чувствительные элементы измерительного канала за счет определения параметров функций влияния на этапе градуировки и введения вспомогательных каналов измерения возмущающих факторов [3].

Наличие *дистанционного управления* — отличительная опция интеллектуальных ИП, необходимая для встраивания в современные автоматизированные АСУТП.

В настоящее время большинство отечественных производителей выпускает интеллектуальные приборы, использующие для обмена данными промышленный протокол HART (Highway Addressable Remote Transducer). Протокол позволяет передавать одновременно аналоговый и цифровой сигналы по одной и той же паре проводов, используя частотную модуляцию. Однако такое решение для современного уровня развития телекоммуникаций по полевым шинам,



Рис. 1. Унифицированный коммуникатор дистанционной связи

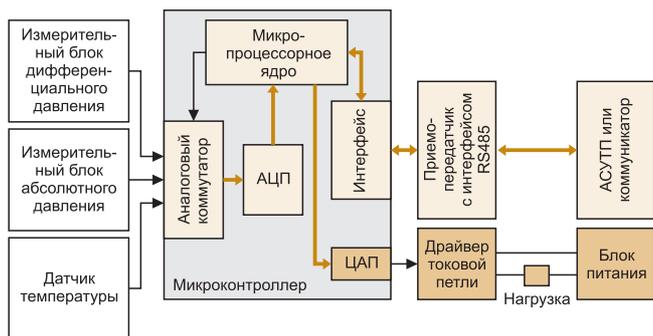


Рис. 2. Структурная схема многопараметрического ИП

несмотря на свою популярность, имеет определенные недостатки.

Во-первых, HART-протокол уже сыграл свою роль, обеспечив плавный переход от аналоговых систем управления ТП к цифровым. Использование в настоящее время гибридных аналого-цифровых систем управления, а следовательно, и измерительных приборов с таким протоколом, бесперспективно.

Во-вторых, при максимальной скорости передачи 1,2 Кбит/с, присущей HART-протоколу, возможно обеспечение только сервисных функций: дистанционная "установка нуля", диагностика работоспособности, выбор единицы измерения и т.д. Передача измерительного параметра от десятков и сотен приборов, обслуживающих современные производства, даже для квазистационарных режимов невозможна.

В-третьих, введение в состав прибора коммуникационного устройства отнимает энергию от измерительных цепей. При жестких ограничениях на потребляемый прибором ток (<4 мА) это приводит к ухудшению метрологических характеристик, так и не обеспечивает достаточную помехоустойчивость и дальность связи.

В-четвертых, единственное достоинство HART-протокола – поддержка сложившейся двухпроводной инфраструктуры связи на промышленных предприятиях перекрывается возможностями цифровой двухпроводной полевой шины Fieldbus Foundation, предложенной фирмой Fisher-Rosemount США. Скорость передачи информации по этому интерфейсу составляет 31,25 Кбит/с, то есть в 30 раз превышает пропускную способность HART-протокола. Кроме того, по данным фирмы Прософт в 80% систем автоматического контроля и управления ТП на базе распределенных полевых шин используется интерфейс RS-485 с протоколом обмена данными Modbus. Преимуществами этого протокола являются простота реализации, широкая распространенность готовых OPC-

серверов (как коммерческих, так и бесплатных) и SCADA-систем для работы с устройствами Modbus. Технология OPC (OLE for Process Control) представляет собой стандартный метод для доступа к периферийным устройствам, системам SCADA/MMI или другим промышленным приложениям, основанным на технологиях OLE, COM (Component Object Model) и DCOM (Distributed COM) [4].

Для оперативного удаленного управления и настройки ИП в комплекс входит специализированное ПО, устанавливаемое на компьютере АСУТП, а также унифицированный коммуникатор дистанционной связи, опытный образец которого показан на рис. 1. Коммуникатор обеспечивает связь с ИП по любому из вышеописанных протоколов.

Современные достижения микропроцессорной техники позволяют существенно расширить функциональные возможности ИП, сделав их многопараметрическими. Основная концепция создаваемого комплекса многопараметрических преобразователей состоит в создании базового унифицированного электронного блока (ЭБ), обеспечивающего подключение к нему различных первичных преобразователей. Различные комбинации ИП позволяют строить на его основе приборы различного функционального назначения: расходомеры, уровнемеры, теплосчетчики и т.д. Структурная схема устройства приведена на рис. 2.

Для измерения расхода жидкостей и газов косвенным методом на основе сужающего устройства необходимо проводить прямые измерения абсолютного давления, дифференциального давления и температуры рабочей среды, что определяет состав первичных преобразователей и средств их подключения. Измерение уровня пара в барабанах котлов ТЭЦ гидростатическим методом подразумевает наличие тех же каналов измерений. Идентичные параметры необходимы для расчета тепловой энергии.

Функциональные зависимости, положенные в основу косвенных измерений интересующих пользователя величин, имеют сложный трансцендентный характер [5], и в подавляющем большинстве случаев реализуются на основе либо специализированных вычислительных устройств, либо компьютеров АСУТП. Поэтому основным ограничением при построении многопараметрических ИП в условиях жестких требований к энергопотреблению, электромагнитной совместимости, искробезопасности и взрывонепроницаемости является мощность вычислительного ядра ЭБ.

Таким образом, важнейшей проблемой создания современных многопараметрических приборов является оптимизация вычислительных ал-



Рис. 3. Опытный образец расходомера

горитмов, обеспечивающих заданную погрешность измерения при существующих ограничениях. За счет этого оказалось возможным реализовать вычислительные процедуры расчета расхода жидкостей и газов, уровня и тепловой энергии на микропроцессоре с архитектурой intel 8052 в масштабе РВ. Предлагаемый комплексный подход к решению поставленных задач отличается высокой конкурентоспособностью, и аналогов в отечественной практике приборостроения не имеет.

На рис. 3 представлен опытный образец расходомера, к освоению серийного выпуска которого в настоящее время приступило ОАО "Теплоприбор" (г. Рязань). Прибор продемонстрировал следующие основные характеристики: динамический диапазон 1:10, погрешность измерений 2%, дополнительная погрешность не превышает основной в диапазоне температур -40...80°C.

#### Список литературы

1. Голь С.А. Автоматизация градуировки интеллектуальных измерительных преобразователей давления // Автоматизация в промышленности. 2006. №11.
2. Виноградов А.Л., Голь С.А., Лавров А.М., Устинов К.С. Исследование устойчивости процесса настройки параметров функции коррекции измерительного преобразователя // Известия РАЕН. Дифференциальные уравнения. 2006. № 11.
3. Виноградов А.Л., Голь С.А., Устинов К.С., Федоров В.Л. Структурно-алгоритмические методы коррекции погрешностей в современных интеллектуальных преобразователях давления // Автоматизация в промышленности. №11. 2006.
4. Виноградов А.Л., Виноградов Ю.Л., Корнеев В.Е., Устинов К.С., Федоров С.Ю. Расходомер с протоколом связи RS-485 и поддержкой спецификации OPC // Информационно-измерительная и биомедицинская техника. Сб. научных трудов. Рязань: РГРТА, 2006.
5. Кремлевский П.П. Расходомеры и счетчики количества веществ. Изд-во "Политехника". СПб, 2002.

*Виноградов Александр Леонидович — канд. техн. наук, доцент, директор,*

*Голь Станислав Артурович — канд. техн. наук, ведущий инженер,*

*Устинов Константин Сергеевич — ведущий программист*

*ООО "Конструкторское бюро микропроцессорной техники" г. Рязань (ООО "КБМТ"),*

*Виноградов Юрий Леонидович — канд. техн. наук, доцент,*

*Корнеев Владимир Евгеньевич — аспирант Рязанского государственного радиотехнического университета.*

*Контактный телефон (4912) 92-03-48. E-mail: iit@rgta.ryazan.ru*

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОПТОВОЛОКНА В ОПТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ ПИРОМЕТРОВ

**А.Ю. Неделько (ОАО НПП "Эталон")**

*Показана возможность использования оптоволоконных элементов в пирометрах для передачи потока измеряемого теплового излучения от объекта на датчик, а также для передачи излучения видимой подсветки области измерения на объект.*

В настоящее время оптическое волокно широко применяется в различных областях деятельности. Наибольшее распространение волокно получило в системах связи для передачи потока цифровой информации посредством модулированного оптического излучения. В измерительных системах оптическое волокно может быть применено в качестве линии передачи, а также может играть роль непосредственно чувствительного элемента.

На предприятии "Эталон" использование оптоволоконна в качестве непосредственно датчика находится на стадии изучения, а оптоволоконные элементы в пирометрах используются для передачи потока измеряемого теплового излучения от объекта на датчик, а также для передачи излучения видимой подсветки области измерения на объект.

Отметим некоторые достоинства оптических волокон: малые потери излучения (минимальные 0,154 дБ/км), малые диаметр и масса; эластичность (малый допускаемый радиус изгиба); механическая прочность (выдерживает нагрузку на разрыв примерно 7 кг); отсутствие взаимной интерференции (проникновение сигнала в соседние линии); безындукционность (практически отсутствует влияние электромагнитной индукции, а следовательно, и отрицательные явления, связанные с близостью к линии элект-

ропередачи, импульсами тока в силовой цепи и т.п.); взрывобезопасность (гарантируется абсолютной неспособностью волокна быть причиной искры); высокая коррозионная стойкость, особенно к химическим растворителям, маслам, воде.

Кратко рассмотрим конструкцию оптического волокна, а также основные принципы и понятия, используемые в оптоволоконной технике.

Волоконным световодом называют оптически прозрачную (в заданной спектральной области) нитевидную структуру, содержащую сердцевину и коаксиальную ей оболочку, показатель преломления  $n_0$ , которой меньше, чем у сердцевины  $n_c$ . В качестве материала световода обычно применяют кварцевое стекло ( $n \approx 1,5$ ), легированное различными примесями, или оптически прозрачные полимеры. Снаружи волоконный световод может быть покрыт защитной оболочкой, которая обычно не влияет на его оптические свойства.

Для передачи излучения по оптоволокну необходимо оптическое сопряжение источника излучения с одним из торцов световода. При этом в оптоволоконне могут распространяться только лучи, для которых угол падения на оболочку не превышает величины угла полного внутреннего отражения, то есть выполняется условие:

$$\cos \theta \geq n_0/n_c. \quad (1)$$