

АВТОМАТИЗАЦИЯ УЗЛОВ ИЗМЕРЕНИЯ РАСХОДА ПРИРОДНОГО ГАЗА

Н.А. Захаров, А.Г. Лактионов (ЗАО "СовТИГаз")

Рассмотрена задача измерения расхода природного газа и определения его параметров. Описаны основные методы измерения. Приведена классификация замерных узлов. Показаны решения ЗАО "СовТИГаз" по построению САУ узлов измерения расхода газа (УЗРГ), даны характеристики применяемых вычислителей и измерительных комплексов Суперфлоу.

Ключевые слова: узел измерения расхода газа, линейный вычислительный комплекс, система автоматического управления.

Измерение и учет расхода природного газа необходимо для обеспечения корректности финансовых расчетов между добывающими предприятиями, транспортирующими организациями и конечными потребителями. Узлы измерения расхода газа (УЗРГ) входят в состав газоизмерительных станций (ГИС) и газораспределительных станций (ГРС).

По месту размещения узлы измерений принято разделять на входящие в состав:

- а) ГИС на границах России;
- б) ГИС между газодобывающими и газотранспортными организациями, на границах между газотранспортными организациями ОАО "Газпром";
- в) ГРС и пунктов, предназначенных для измерения объемов газа, поставляемого отечественным потребителям;
- г) объектов выработки тепловой и электрической энергии и других объектов, потребляющих газ на собственные нужды;
- д) технологического оборудования компрессорных станций и других объектов.

В зависимости от значения максимального объемного расхода транспортируемого газа, приведенного к стандартным условиям, узлы измерения расхода и количества природного газа разделяют на четыре категории:

- I категория (большой производительности) — $> 105 \text{ м}^3/\text{ч}$;
- II категория (средней производительности) — $\geq 2 \cdot 10^4$ до $10^5 \text{ м}^3/\text{ч}$;
- III категория (малой производительности) — $\geq 10^3$ до $2 \cdot 10^4 \text{ м}^3/\text{ч}$;
- IV категория (минимальной производительности) — $\leq 10^3 \text{ м}^3/\text{ч}$.

Узлы измерения расхода газа реализуют функции вычисления текущего и суммарного расхода газа, приведенного к стандартным условиям по ГОСТ 2939-63 (давление 101325 Па (760 мм рт. ст.), температура 293,15° К (20 °С)); регистрации параметров, характеризующих его качество (влажности, плотности, теплотворной способности, химического состава); передачи информации на верхний уровень линейно-промышленного управления (ЛПУ) или трансгаза.

В качестве первичных приборов измерения расхода газа на рассматриваемых объектах применяются сужающие устройства (диафрагмы), ультразвуковые и турбинные расходомеры. С целью обеспече-

ния требуемой точности измерения расхода газа при его изменении в широком диапазоне в состав крупного УЗРГ входит несколько параллельно соединенных отключаемых измерительных трубопроводов (ИзТ). Каждый ИзТ имеет одинарный или дублированный измеритель расхода. Число одновременно включенных ИзТ определяется из условия работы измерителей в верхней части своего диапазона и максимизации точности.

Метод измерения расхода по перепаду давления на сужающем устройстве (диафрагме) характеризуется простотой конструкции преобразователя расхода и возможностью поверки измерительного устройства при отсутствии стендов, оснащенных образцовыми расходомерами. Данный способ хорошо изучен, обладает обширной нормативной базой. Существенным недостатком этого метода является его высокая чувствительность к неравномерности эпюры скоростей потока на входе в сужающее устройство [1]. Неравномерность обусловлена наличием в подводящем и/или отводящем трубопроводах источников возмущения — запорной арматуры, колен и т.п. Поэтому перед диафрагмой необходим прямой участок трубопровода длиной ≥ 10 диаметров его условного прохода (Ду). В некоторых случаях необходимо прямой участок длиной ≥ 50 Ду.

Способ измерения на базе турбинных преобразователей расхода характеризуется значительным диапазоном измерения (до 1:30) и стабильностью коэффициента преобразования в самом широком диапазоне числа Рейнольдса Re потока газа. Стабильность является существенным свойством, поскольку калибруются счетчики расхода газа на воздухе при атмосферном давлении (нулевом избыточном давлении), а работают в среде природного газа при давлении до 200 атм. Турбинные преобразователи расхода обладают некоторой чувствительностью к искажениям формы потока, повышенной погрешностью при измерении пульсирующих потоков газа, неработоспособны на малых расходах. Турбинные расходомеры большого диаметра (≥ 300 мм), применяемые на магистральных газопроводах, характеризуются относительно высокой стоимостью и большими сроками поставки. Наличие движущихся деталей приводит к риску их повышенного износа в случае недостаточной очистки измеряемого газа от механических примесей.

Наиболее перспективными для коммерческого учета газа являются ультразвуковые расходомеры. Современное состояние развития электроники позволило решить препятствовавшие их распространению проблемы высокой стоимости изготовления и низкой надежности. Они не имеют движущихся деталей и не создают препятствий измеряемому потоку, на них нет падения давления. Для компенсации искажений формы потока применяются многолучевые схемы с последующей обработкой информации по сложным алгоритмам. Хотя в статье [1] утверждается, что "выпускаемые в России ультразвуковые счетчики газа по совокупности своих характеристик пока не отвечают всем необходимым требованиям к приборам коммерческого учета газа и соответственно могут найти весьма ограниченное применение", ультразвуковые расходомеры производства ООО "Саратовгазавтоматика" успешно применяются на ГИС магистральных газопроводов.

Требования к качеству природного газа регламентируются ГОСТ-5542-87 и ОСТ 51.40-93. На узлах коммерческого учета газа контролируются: температура точки росы по воде и углеводородам, состав газа по основным компонентам, плотность, теплотворная способность.

Измеритель температуры точки росы по воде и углеводородам реализуется по конденсационному принципу. Чувствительным элементом является конденсационное зеркало, температура которого изменяется и анализируется в ходе измерений. Для охлаждения зеркала в отечественном приборе "Конг-Прима-10" (производство НПО "Вымпел", г. Саратов) используется полупроводниковый охлаждающий элемент. В некоторых лабораторных приборах для охлаждения зеркала используют подачу хладагента. Момент конденсации влаги или углеводородов регистрируется при помощи оптического датчика, температура зеркала измеряется расположенным непосредственно под ним платиновым датчиком. "Конг-Прима-10" реализует измерение температуры точки росы по воде и углеводородам непрерывно в автоматическом режиме. Он и его предшественник "Конг-Прима-4" успешно используется на многих узлах измерения расхода газа. Абсолютная погрешность измерения температуры точки росы по воде и углеводородам $\leq \pm 1^\circ\text{C}$.

Измеритель плотности газа использует влияние плотности среды, с которой взаимодействует его резонансный элемент, на его частоту собственных колебаний. Полученное значение плотности затем используется для пересчета объема газа к нормальным условиям.

Наиболее полное представление о составе газа и его энергетической ценности дает хроматограф. Используемые на узлах измерения расхода газа хроматографы обеспечивают автоматическое определение состава газа по компонентам, в том числе содержание в нем метана, кислорода, азота, углекислого газа, этана, пропана, бутана, изобутана, н-бутана, изопента-

на, н-пентана и гексанов (или суммы C_{6+}). По полученным от хроматографа данным можно рассчитать плотность газа и его теплотворную способность.

Автоматизация измерений и учета природного газа является специализацией ЗАО "СовТИГаз". Компания занимает ведущие позиции на рынке вычислителей и измерительных комплексов, предназначенных для коммерческого учета газа в газовой промышленности. ЗАО "СовТИГаз" обеспечивает решение всего спектра задач автоматизации УЗРГ — организацию вычислений, создание САУ УЗРГ, интеграцию в состав САУ УЗРГ различных приборов контроля качества газа, связь САУ УЗРГ с верхним уровнем АСУ ТП. Далее представлены отработанные решения фирмы в указанной области.

Приведение результатов измерения текущего расхода газа к нормальным условиям и расчет суммарного расхода газа осуществляет специализированное устройство — линейный вычислительный комплекс (ЛВК). ЗАО "СовТИГаз" выпускает линейку ЛВК "СуперФлоу", составляющих основу одноименных измерительных комплексов.

Многониточный измерительный микропроцессорный комплекс СуперФлоу-ПЕ предназначен для непрерывного автоматического измерения и вычисления расхода и объема природного газа, приведенного к стандартным условиям, методом переменного перепада давления на стандартных сужающих устройствах на одном, двух или трех ИзТ УЗРГ. СуперФлоу-ПЕТ работает с турбинными расходомерами.

Приборы и оборудование комплекса, располагаемые в помещении категории В-1а, имеют взрывобезопасный уровень взрывозащиты IExibсIIBT3 и могут использоваться во взрывоопасных зонах в соответствии с применяемой маркировкой.

Дальнейшим развитием линейки "СуперФлоу" является измерительный комплекс "СУПЕРФЛОУ-21В". Он обеспечивает работу до четырех ИзТ, у него значительно расширен ассортимент первичных датчиков, есть возможность вести учет воды и водяного пара. До 1:10 расширен диапазон измерения расхода (у "Суперфлоу-ПЕ 1:3), погрешность вычислений $\leq 0,01\%$ (у "Суперфлоу-ПЕ не нормируется). Подключение датчиков к вычислителю осуществляется по цифровым каналам. Функции "Суперфлоу-21В" следующие:

- измерение разности давлений на стандартных сужающих устройствах, давления, температуры природного газа в измерительном трубопроводе и определения объемного расхода, объема природного газа, приведенного к стандартным условиям, методом переменного перепада давления;
- приведение к стандартным условиям (коррекции) объема природного газа, измеренного преобразователями объема, объемного расхода;
- измерение разности давлений на стандартных сужающих устройствах, давления, температуры воды/водяного пара в измерительном трубопроводе и

определение массового расхода, массы, количества теплоты (тепловой энергии) воды/водяного пара методом переменного перепада давления;

- измерение расхода и объема природного газа при помощи ультразвуковых преобразователей расхода;
- измерение расхода, объема, массы жидкости или газа усредняющими (интегрирующими) трубками типа Annubar.

Для "Суперфлоу-21В" предусмотрены два варианта взрывобезопасного исполнения "искробезопасная цепь "i" по ГОСТ Р 51330.10-99 и "взрывонепроницаемая оболочка" по ГОСТ Р 51330.1-99. В этом случае датчики комплекса могут располагаться во взрывоопасных зонах в соответствии с гл. 7.3 ПУЭ и другими нормативными документами, регламентирующими применение электрооборудования во взрывоопасных зонах, в которых могут образоваться взрывоопасные смеси категорий ПА и ПВ групп Т1, Т2, Т3, Т4, согласно ГОСТ Р 51330.0-99. Вычислитель располагается вне взрывоопасной зоны.

Корректор объема газа "СуперФлоу 23" предназначен для автоматического приведения к стандартным условиям объема природного газа, измеренного счетчиком газа турбинного, ротационного, вихревого, ультразвукового или другого типа с низкочастотным импульсным выходом. Корректор предназначен для эксплуатации во взрывоопасных зонах класса 1, где возможно образование взрывоопасных смесей категорий ПА групп Т1 – Т3. Корректор является средством измерения. Межповерочный интервал – 5 лет.

Корректор обеспечивает измерение, вычисление, регистрацию, отображение на экране и передачу по цифровому каналу связи следующих значений и параметров:

- объема газа нарастающим итогом, приведенного к стандартным условиям и при рабочих условиях (м^3);
- объема газа за текущие сутки/расхода газа, приведенного к стандартным условиям ($\text{м}^3 / \text{м}^3/\text{ч}$)
- расхода газа при рабочих условиях ($\text{м}^3/\text{ч}$), давления газа (кПа, бар, $\text{кгс}/\text{см}^2$), температуры газа ($^{\circ}\text{C}$);
- плотности газа при рабочих условиях ($\text{кг}/\text{м}^3$);
- коэффициента сжимаемости и коррекции объема газа;
- текущего времени и даты.

Корректор обеспечивает измерение абсолютного давления с верхним пределом измерения 0,2...7 МПа. Рабочий диапазон канала измерения давления 30...100% верхнего предела измерения. Допускаемая основная относительная погрешность $\leq \pm 0,4\%$. Допускаемая основная относительная погрешность не более $\pm 0,5\%$. Допускаемая дополнительная относительная погрешность в полном эксплуатационном диапазоне температуры окружающего воздуха не более $\pm 0,25\%$.

Корректор обеспечивает измерение термодинамической температуры в диапазоне 243...333 К ($-30...60\text{ }^{\circ}\text{C}$). Допускаемая основная относительная

погрешность $\leq \pm 0,1\%$. Допускаемая дополнительная относительная погрешность во всем эксплуатационном диапазоне температуры окружающего воздуха $\leq \pm 0,05\%$. Допускаемая основная относительная погрешность в полном эксплуатационном диапазоне температуры окружающего воздуха $\leq \pm 0,5\%$. Питание может осуществляться от встроенной батареи или от внешнего источника питания постоянного тока. Срок службы батареи при работе без внешнего источника питания ≥ 5 лет. При преимущественной ($> 70\%$ времени) работе от внешнего источника питания срок службы батареи составляет ≥ 10 лет.

Корректор обеспечивает прием низкочастотных импульсных сигналов от счетчика газа – контактных пар (герконов) или их электронных аналогов. Максимальная частота следования импульсов ≤ 10 Гц.

Корректор в рабочем режиме обеспечивает ввод и изменение со встроенной клавиатуры или по линии связи следующих параметров: значение плотности газа при стандартных условиях ($0,668...1,05\text{ кг}/\text{м}^3$); молярной доли азота ($0...15\%$); значение коррекции отсчета времени; режимов работы линии связи (только с клавиатуры); единиц отображения значения давления (бар, $\text{кгс}/\text{см}^2$, кПа); паролей доступа к параметрам прибора и архивной информации.

Дополнительно, после перехода в режим конфигурации, связанного с необходимостью открытия крышки прибора: значения текущего времени и даты; часового пояса функции отсчета времени и режима перехода на летнее время; значения контрактного часа по локальному времени и его часового пояса; значений объема накопленных нарастающим итогом; коэффициента преобразования счетчика газа.

Корректор обеспечивает ввод значений измеряемых величин давления и температуры в виде констант в допустимом диапазоне рабочих значений. Он осуществляет регистрацию информации в архиве аварий и вмешательств, архиве свойств газа, циклических архивах и предоставляет к ним доступ по цифровой линии связи. Поддерживаются следующие архивы: циклический часовой (≥ 5 лет) и суточный (≥ 10 лет); аварий, сообщений и вмешательств (≥ 8000 записей); изменений свойств газа (≥ 2500 записей).

Циклические архивы содержат следующие данные:

- время и дата начала учетного периода;
- время в состоянии учета в течение периода;
- значение объема при стандартных и рабочих условиях за учетный период;
- среднее за период значение давления, температуры, коэффициента коррекции объема газа;
- интегральное значение флажков состояния прибора за учетный период.

Корректор обеспечивает обмен данными с внешними устройствами по искробезопасной цифровой линии связи на базе интерфейса RS-485. Поддерживается ряд скоростей обмена 300...115200 бод.

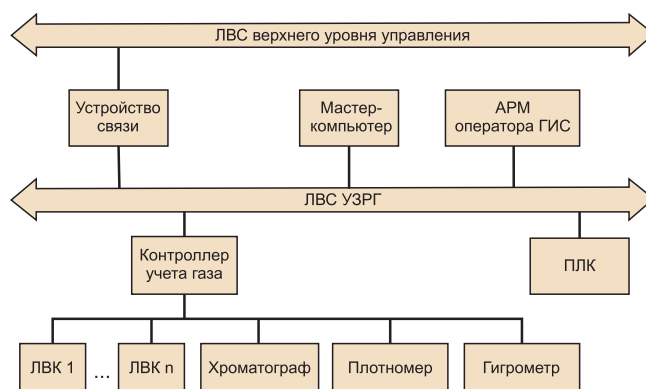
Внешнее питание корректора осуществляется по искробезопасной линии питания от источника пита-

ния постоянного тока с номинальным напряжением 7 В. Допустимый диапазон напряжения питания 5...10 В. Потребляемая мощность $\leq 0,5$ Вт. "Супер-флю-23" является взрывозащищенным электрооборудованием со взрывозащитой вида искробезопасная цепь, имеет маркировку взрывозащиты 1Ex ib ПА ТЗ. Степень защиты корпуса от внешних воздействий соответствует IP65. Габаритные размеры корректора: 225 × 166 × 75 мм, масса $\leq 1,6$ кг.

УЗРГ работают без постоянного присутствия персонала, все управление осуществляет его системы автоматического управления (САУ) УЗРГ, которые обеспечивают выполнение следующих функций:

- автоматическое определение объемного расхода и объема природного газа, приведенных к стандартным условиям, по каждому ИзТ и по узлу измерений в целом;
- измерение физико-химических параметров газа при автоматическом отборе пробы газа;
- автоматический сбор и обработка сигналов, поступающих от всех измерительных преобразователей;
- автоматическое определение необходимого числа включенных измерительных трубопроводов и их включение;
- автоматический останов УЗРГ и переключение потока газа в обход УЗРГ при аварийной ситуации;
- автоматическое отображение и регистрацию измерительной и технологической информации;
- автоматический контроль значений измеряемых величин, включение предупредительной сигнализации при их выходе за допустимые пределы;
- автоматическую передачу отдельных параметров физико-химических параметров в вычислители расхода;
- формирование усредненных значений измеренных величин;
- синхронизацию времени между устройствами ПТК;
- автоматическую регистрацию отклонений от заданных режимов работы, обнаружение отказов, распознавание аварийных ситуаций и обеспечение срабатывания аварийной защиты;
- автоматическое обнаружение отказов технических и программных средств, нарушений измерительных каналов;
- защита от несанкционированного вмешательства и ошибочных действий персонала;
- отображение информации на экране мастер-компьютера и устройстве отображения и управления (оперативной панели);
- формирование БД;
- ведение журнала аварийных и технологических сообщений;
- формирование и печать отчетных документов, протоколов нештатных и аварийных ситуаций;
- передача информации в АСУТП по согласованным протоколам обмена.

Структурная схема САУ УЗРГ приведена на ри-



Структурная схема СУ УЗРГ

сунке. Контроллер учета газа осуществляет сбор информации от подключенных к нему приборов измерения расхода и параметров газа, ее хранение и передачу в локальную вычислительную сеть УЗРГ. Подключение приборов к контроллеру учета газа осуществляется, как правило, по последовательному порту, протоколы обмена могут быть различными, в том числе и нестандартными. Функцию преобразования этих протоколов к стандартному протоколу сети УЗРГ также осуществляет контроллер учета.

ПЛК осуществляет относительно простые функции управления арматурой УЗРГ, а также всей ГИС или ГРС, в состав которой входит УЗРГ. В частности, он осуществляет включение нужных для работы ИзТ, управление отоплением, вентиляцией, реализует при необходимости аварийный останов. Пример применения в составе САУ ГИС ПЛК GE Fanuc Series 90-30 приведен в [2].

Мастер-компьютер осуществляет сбор информации и управление устройствами нижнего уровня, хранение, отображение информации, формирование отчетных документов, обеспечивает доступ к информации УЗРГ с верхнего уровня АСУ ТП.

ПО САУ УЗРГ имеет распределенные ресурсы, объединенные в единую информационную двухуровневую систему. Нижний уровень включает ПО: вычислителей, ПЛК и средств измерения для определения физических свойств и качества газа. Верхний уровень управления состоит из ПО главного и резервного (при его наличии) управляющих мастер-компьютеров, ПО АРМ оператора и сервисного ПО.

ПО верхнего уровня обеспечивает выполнение следующих основных функций: автоматизированный сбор информации с вычислителей, ПЛК и других устройств нижнего уровня; ведение архивов; представление собранной информации на экранных формах; формирование сигналов рассогласования измеряемых параметров между основным и дублирующим вычислителями; запись в вычислители физических свойств, качественных характеристик природного газа и изменяемых параметров; редактирование и сохранение границ шкал, технологических и аварийных уставок измеряемых и вычисляемых па-

раметров газа по каждой измерительной системе, каждому ИТ и узлу измерений в целом; формирование и отображение на экранных формах графического изображения (трендов) измеряемых и вычисляемых параметров; идентификация и определение уровня доступа (прав) пользователей с использованием паролей или ключей; ведение журнала аварий и событий; формирование и распечатка отчетов; интеграция САУ УЗРГ в АСУТП ЛПУ; синхронизация времени ПТК.

ПО мастер-компьютеров в САУ УЗРГ, изготавливаемых ЗАО "СовТИГаз", функционирует под управлением ОС QNX, что гарантирует их стабильную работу в режиме РВ.

Сервисное ПО предназначено для настройки и обслуживания вычислительных устройств и приборов определения физико-химических свойств газа. Сервисное ПО обеспечивает выполнение следующих функций: конфигурацию портов связи; конфигурирование системных параметров и измерительных каналов устройства; изменение условно-постоянных параметров; изменение даты и времени; калибровку измерительных каналов.

В качестве сервисного ПО для вычислителей и измерительных комплексов семейства "Суперфлоу" ЗАО "СовТИГаз" предоставляет программу Host-IP, выполняющую следующие функции:

- автоматический сбор информации с вычислителя СуперФлоу о суточном и почасовом расходе газа, вмешательствах и аварийно-предупредительных сообщениях;
- мониторинг текущих значений давления, температуры, перепада давлений, мгновенного расхода газа и других вычисляемых параметров;
- отслеживание действующих значений состава газа, геометрии трубопровода и других параметров, влияющих на расход газа, внесение изменений как вручную оператором, так и автоматически;
- ведение отчетов о расходе газа и работе вычислителя СуперФлоу;
- организация печати данных.

Host-IP работает под управлением ОС РВ QNX, являющейся в настоящее время одной из наиболее защищенных промышленных ОС. Ее использование позволяет существенно повысить надежность при непрерывной круглосуточной работе, по сравнению с системами на основе ОС Windows, организовать защиту собранной информации от несанкционированного доступа.

Данное ПО позволяет работать с неограниченным числом каналов (направлений) связи (ограничение связано только с доступной периферией компьютера). По каждому каналу связи возможно установить задание его параметров — скорости и вре-

менной диаграммы работы вплоть до каждого отдельного прибора.

Возможна работа как выделенной линии связи, так и через АТС. Протокол обмена по каналам связи оптимизирован с целью сокращения объема пересылаемых пакетов и обеспечения устойчивой работы на линиях низкого качества.

Программа позволяет обмениваться информацией с выпускаемой ЗАО "СовТИГаз" системой телемеханики SuperRTU, что позволяет разработчику проектировать необходимый интерфейс пользователя для конкретного объекта.

Среди других свойств системы следует отметить следующие возможности, выбираемые пользователем:

- автоматический переход на зимнее/летнее время;
- удаленный доступ, который позволяет отображать, получать информацию, контролировать работу удаленного компьютера как в текстовом, так и в полномасштабном графическом режиме;
- связь с системой телемеханики по последовательному каналу связи, передача ей согласованной информации.

САУ УЗРГ интегрируется в АСУТП ЛПУ, компрессорной станции, установки комплексной подготовки газа или иного крупного объекта. Обмен данными между САУ УЗРГ и АСУТП верхнего уровня осуществляется по выделенным каналам связи, как правило, по кабелю, в том числе оптоволоконному. Обычно для интеграции используется локальная резервированная сеть Ethernet. При реконструкции находящихся в эксплуатации УЗРГ для передачи ограниченного числа параметров возможно использование телемеханических каналов связи и использование последовательных протоколов обмена по последовательным портам RS-232/422/485. Скорость обмена должна быть не ниже: 115200 бит/с для УЗРГ I категории; 57600 бит/с для II категории; 19200 бит/с для III и IV категорий.

ЗАО "СовТИГаз" накоплен богатый опыт разработки и внедрения вычислительных комплексов "Суперфлоу" и САУ ГИС на различных объектах газовой промышленности, в том числе на ГИС, осуществляющих учет газа для международных расчетов. Реализована интеграция в САУ УЗРГ различных приборов измерения параметров качества газа. ЛВК "Суперфлоу" успешно эксплуатируются в ряде стран Европы и Центральной Азии.

Список литературы

1. Золотаревский С.А. О применимости различных методов измерения расхода для коммерческого учета газа // Энергосбережение. 2010. № 3-4.
2. Аграновский Е.А., Лактионов А.Г., Захаров Н.А., Меньшиков В.В. Газоизмерительная станция "Смоленская". Промышленные АСУ и контроллеры, 2002, № 8.

*Николай Анатольевич Захаров — канд. техн. наук, главный технолог,
Александр Георгиевич Лактионов — главный конструктор ЗАО "СовТИГаз"*

*Контактный телефон (495)381-26-30.
E-mail info@sovtagaz.ru Http://www.sovtagaz.ru*