

Численная реализация предложенной схемы позволяет найти параметры стационарного течения газа в сложной системе магистрального трубопровода с любой наперед заданной точностью. Итерационный процесс сходится быстро.

Зная параметры стационарного течения, т. е. расходы газа по участкам и давления во всех узлах, легко определить начальные условия — поля этих величин. Что касается расхода газа, то он является постоянным на протяжении всего участка (ребра). Давление же газа падает по направлению течения.

Пусть на левом конце участка давление равно P_1 , на правом — P_2 . Из дифференциальных уравнений стационарного течения находим, что квадрат давления будет линейной функцией координаты X . Следовательно, поле давления газа можно представить в виде

$$p(x) = \sqrt{P_1^2 - \frac{P_1^2 - P_2^2}{l} x}, \text{ где } l \text{ — длина рассматриваемого участка.}$$

ЛИТЕРАТУРА

1. Самарский А. А., Попов Ю. П. Разностные методы решения задач газовой динамики. М., 1992.
2. Седов Л. И., Черный Г. Г. Осреднение неравномерных потоков газа в каналах. Теоретическая гидромеханика/ Под. ред. Л. И. Седова. Сб. статей № 12. Вып. 4. М., 1954. С. 17–30.

Александр Анатольевич ВАКУЛИН —
профессор кафедры механики многофазных систем,
доктор технических наук

Николай Иванович РОМАНЕЦ —
коммерческий директор ООО ИЦ «Тахион-V»

Александр Борисович ШАБАРОВ —
заведующий кафедрой механики многофазных систем,
доктор технических наук, профессор

Компьютерно-измерительные системы учета теплоэнергоресурсов

УДК 622.276

АННОТАЦИЯ. Рассмотрены концептуальные подходы к созданию компьютерно-измерительных систем (КИС) для учета теплоэнергоресурсов — природного газа, тепловой энергии и др. Отмечены преимущества разработанных и внедренных КИС.

The authors tackle conceptual approaches to computer measuring systems (CMS) to estimate thermal energy resources, i.e. natural gas, thermal energy, etc., and emphasize the advantages of CMS that have already been developed and implemented.

В настоящее время в измерительной технике и метрологии сформировалось новое направление — компьютерно-измерительные системы (КИС) и их разновидность — виртуальные измерительные приборы [1]. Отличительной чертой КИС является то, что в ней обязательно присутствует компьютер, работающий в режи-

ме реального масштаба времени (в режиме on-line). При этом он используется не только как вычислительное средство, но и как прибор, предназначенный для измерения различных физических величин, например, частоты выходных электрических сигналов датчиков [2].

Основными преимуществами КИС, по сравнению с широко применяемыми микропроцессорными приборами является:

- возможность составления компьютерных программ для решения конкретных измерительных задач;
- высокоразвитый графический интерфейс пользователя, обеспечивающий быстрое освоение взаимодействия с системой;
- возможность оперативной передачи данных исследований и измерений по локальным и глобальным компьютерным сетям (например, сети Internet);
- возможность использования внутренней и внешней памяти большой емкости;
- возможность оперативного использования различных устройств документирования результатов измерений.
- наличие обширного фонда стандартных прикладных компьютерных программ, позволяющих решать широкий круг прикладных задач измерения.

Возможно построение КИС с последовательной и параллельной архитектурой. В КИС с последовательной архитектурой, электроника, преобразующая анализируемые сигналы, размещается на слотах компьютера. В КИС с параллельной архитектурой содержится ряд параллельных каналов измерения, каждый из которых имеет собственные узлы преобразования анализируемых сигналов и только процессор компьютера работает в режиме мультиплексирования (т.е. объединения сигналов). Это позволяет, во-первых, проводить оптимизацию обработки сигналов в каждом канале независимо и, во-вторых, преобразование сигналов можно выполнять локально в месте расположения источника исследуемого сигнала, что позволяет передавать сигналы от измеряемого объекта в цифровой форме.

Учет теплоэнергоресурсов, таких как природный газ, вода, водяной пар, количество теплоты является коммерчески важной, типичной прикладной задачей. Для ее решения применяют газо (паро, тепло)счетчики, представляющие собой совокупность первичных датчиков и вычислителя. Действительно, для определения расхода природного газа используют формулу:

$$G_c = G_o \rho / \rho_c = 2893,17 G_o (P_n + 0,101325) / ((273,15 + t_n) K) \quad (1)$$

где G_c — объемный расход, приведенный к стандартным условиям (это состояние газа с параметрами: абсолютное давление $P_c = 0,101325$ МПа, температура $T_c = 293,15$ К), G_o — объемный расход газа при рабочих условиях, ρ — плотность газа при рабочих условиях, ρ_c — плотность газа при стандартных условиях, P_n — избыточное давление, в МПа; t_n — температура газа (в °С), K — коэффициент сжимаемости.

Для учета тепловой энергии в закрытой системе теплоснабжения (системе, где нет отбора горячей воды из системы, а тепло отводится от потока горячей воды для обогрева помещения), соответствующая формула имеет вид:

$$Q = G(i_1 - i_2) \quad (2)$$

где Q — отводимая от потока воды тепловая мощность, G — массовый расход воды, i_1 и i_2 — энтальпии воды соответственно в подающем и обратном трубопроводах. Считая воду практически несжимаемой, зависимостью энтальпии от давления пренебрегают, и с пригодной для практических расчетов точностью удельную энтальпию воды вычисляют по формуле:

$$i = V_1 + V_2 t + V_3 t^2, \text{ кДж/кг}$$

где t , °С - температура, V_1, V_2, V_3 — коэффициенты, приведенные в [2].

Из выражений (1) и (2) видно, что для получения искомых значений соответственно расхода природного газа при стандартных условиях и тепловой мощности необходим комплект средств измерений (СИ), а именно: в первом случае расходомер газа, датчик избыточного давления, датчик температуры и вычислитель, во втором случае: расходомер воды, датчики температуры и вычислитель.

В качестве вычислителя (вторичного преобразователя) используют приборы, оснащенные либо микропроцессором (контроллеры) либо персональной ЭВМ [2–4]. Выбор потребителем того или иного варианта учета теплоэнергоресурсов зависит от множества факторов, в том числе экономических. Учет экономических факторов позволил нам создать и предложить на рынок различные измерительно-вычислительные комплексы (ИВК) на базе вторичного преобразователя Тахион-5М для учета теплоэнергоресурсов, нашедших широкое применение в Тюменской области [2–5]. Поскольку в этих ИВК компьютер работает в режиме on-line и используется, кроме всего прочего, как измеритель частоты, то такие комплексы можно трактовать как КИС с параллельной архитектурой. При этом они имеют три важных отличия от обычных КИС, которые заключаются в следующем:

1. Поскольку в большинстве случаев коммерческая поставка природного газа, воды, тепла и т. п. от поставщика к потребителю оформляется договорными отношениями, где четко регламентируются месячные лимиты на поставку и требование равномерности расходования энергоресурса, мы имеем дело с медленно меняющимися физическими величинами. Это позволяет не использовать в структурной схеме КИС с параллельной архитектурой аналого-цифровой и цифроаналоговый преобразователи (соответственно АЦП и ЦАП), а ограничиться преобразователем напряжение — частота (ПНЧ). Это позволяет упростить и удешевить схему аналогового измерительного преобразователя (АИП) и, соответственно, повысить надежность его работы.

2. Программная часть виртуального прибора может эмулировать на экране дисплея компьютера виртуальную переднюю управляющую панель стационарного измерительного прибора, которую можно многократно перестраивать в процессе работы для адаптации к конкретным условиям измерений. В разработанных нами КИС такой перестройки не требуется. Это связано с обязательным требованием поставщика теплоэнергоресурса к приборам, применяемым для коммерческого учета, об их защите от несанкционированного вмешательства и неизменности внешнего вида программного интерфейса (виртуальной измерительной панели), который в виде распечатанного на принтере отчета служит основанием для проведения денежных взаиморасчетов.

3. Так как учет теплоэнергоресурсов не является математически сложной задачей и здесь не требуются большие вычислительные и графические возможности персонального компьютера, то можно использовать дешевые IBM совместимые компьютеры, способные работать под управлением простейшей операционной системы, начиная с MS DOS версии 6.22 и выше.

Очевидно, что использование этих трех отличий при решении конкретной задачи учета теплоэнергоресурсов приводит к существенному упрощению и удешевлению КИС, что делает их конкурентоспособными с обычно применяемыми микропроцессорными приборами. Действительно, сопоставим цены на начало 2004 г. коммерческих узлов учета природного газа на базе, с одной стороны, наиболее известного в г. Тюмени микропроцессорного вычислителя БКТ.М (производитель — ОАО ИПФ «Сибна», г. Тюмень) с КИС на базе ВП «Тахион-5М» (производитель — ООО ИЦ «Тахион-V», г. Тюмень), при условии, что в обеих случаях используются одинаковые первичные датчики расхода, давления и температуры, например, ДРГ.М-160, МИДА и ТСМ соответственно. При этом разница

в цене узлов учета будет определяться разницей в цене соответственно БКТ.М и КИС, состоящей в данном случае из электронного блока, соединенного двухпроводной линией связи с компьютером (для определенности IBM -386). Цена БКТ.М составляет 32000 руб. без НДС, цена КИС — 25000 руб. без НДС (цена электронного блока — 15000руб. + цена ЭВМ с 15-дюймовым монитором — 10000 руб). Видно, что цена КИС существенно ниже и ее можно снизить еще за счет использования, с одной стороны, бывшего в употреблении компьютера и, с другой стороны, удешевления цены электронного блока за счет некоторого уменьшения рентабельности. В результате, в г. Тюмени и области используются около 200 указанных КИС, предназначенных как для учета природного газа, так и тепловой энергии.

Описанные выше преимущества использования КИС по сравнению с контроллерами были нами реализованы при решении ряда нестандартных задач: расширение динамического диапазона измерения расхода природного газа с использованием как вихревых датчиков [5], так и сужающих устройств [3]; при создании различных учебно-научных стендов, комплектов лабораторных работ и т. п. [6,7].

Таким образом, применение КИС как для учета теплоэнергоресурсов, так и для решения целого ряда других прикладных задач доказало свою технико-экономическую эффективность.

Авторы выражают искреннюю признательность С. Г. Монтанари и С. Н. Романцу за большую помощь на различных этапах работы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Нефедов В. И., Хахин В. И., Битюков В. К. и др. Метрология и радиоизмерения: Учебник для вузов. М., 2003.
2. Вакулин А. А., Шабаров А. Б. Диагностика теплофизических параметров в нефтегазовых технологиях. Новосибирск: Наука. Сиб. издательская фирма РАН, 1998.
3. Вакулин А. А. Современные приборы и системы учета газа. В кн.: Теплофизика, гидрогазодинамика. Теплотехника: Сборник статей. Вып. 1. Тюмень: Изд-во ТГУ, 2002. С. 114–120.
4. Вакулин А. А., Монтанари С. Г. Коммерческий учет тепловой энергии с использованием персональной ЭВМ. Сб. докл. междунар. науч.-практич. конф. «Проблемы экологии и энергосбережения в условиях Западной Сибири». М.: Российская академия архитектуры и строительных наук, 1999. С. 66–70.
5. Вакулин А. А., Монтанари С. Г., Романец Н. И., Романец С. Н., Шабаров А. Б. Расширение диапазона измерения расхода и количества узлом учета природного газа // Датчики и системы. 2001. № 5. С. 31–33
6. Вакулин А. А., Шабаров А. Б., Шабарова Л. А., Романец Н. И. Автоматизированная научно-учебная установка для исследования элементов трубопроводов. В кн.: Теплофизика, гидрогазодинамика. Теплотехника: Сборник статей. Вып. 1. Тюмень: Изд-во ТГУ, 2002. С. 172–175.
7. Айтышов А. Х., Вакулин А. А., Монтанари С. Г., Романец Н. И., Романец С. Н., Шабаров А. Б. Автоматизированный учебно-научный стенд для изучения теплофизических процессов // Известия вузов: Нефть и газ. 2002. № 44. С. 50–53.