

Обзор типов и параметров приборов учёта расхода газа, применяемых в автоматизированных системах учёта энергоресурсов

А.В. Ярцев, Е.С. Синютин

Южный федеральный университет, Таганрог

Аннотация: в данной работе приводится обзор типов существующих приборов учета расхода природного газа. Произведено сравнение присутствующих на рынке приборов учета различных производителей. Названы основные характеристики счетчиков, даны определения по каждой характеристике. Рассматривается проблема термокомпенсации расхода в зависимости от температуры рабочей среды. Погрешность измерения газа при перепадах температур приводит к сложностям в прогнозировании потребления энергоресурсов. Приводятся два существующих подхода к решению задачи. Показаны также пути решения для задачи включения приборов учета в единые автоматизированные системы учета энергоресурсов.

Ключевые слова: расходомеры природного газа, диафрагменные счетчики, автоматизированные системы учета, энергоресурсы, термокоррекция.

В современных автоматизированных системах контроля и учёта энергоресурсов и воды основными устройствами, собирающими данные с потребителей, являются счётчики воды, электроэнергии и газа. Чтобы разработать счётчик, превосходящий по своим характеристикам уже имеющиеся, и обеспечить конкурентоспособность систем, использующих такие счётчики, нужно провести обзор имеющихся на рынке измерительных приборов. В данной работе собраны данные по счётчикам природного газа.

Счётчик газа (газовый счётчик) — прибор учёта, предназначенный для измерения количества (объёма), реже – массы прошедшего по газопроводу газа. Количество газа, как правило, измеряют в кубических метрах (м^3), редко — в единицах массы (в основном это касается технологических газов).

Приборы, позволяющие измерять или вычислять проходящее количество газа за единицу времени (расход газа), называются расходомерами или расходомерами-счетчиками. Чаще всего расход газа измеряют в кубических метрах в час ($\text{м}^3/\text{ч}$).

Счетчики газа с несколько худшей точностью, нежели обычные счётчики коммерческого учёта, предназначенные только для технологического или внутривозвратного учёта, часто называют квантометрами.

Газовые счётчики различаются по конструктивному решению, по своим характеристикам и функциональному назначению.

Основные характеристики счётчиков:

Пропускная способность — диапазон расходов, в котором обеспечивается заявленная производителем погрешность измерения счетчика.

Максимальный расход (Q_{\max}) — большинством производителей выбирается из ряда 1; 1,6; 2,5; 4; 6(6,5) с множителем 10л, м³/ч. Значением *минимального расхода* (Q_{\min}) характеризуется ширина диапазона измерений счетчика. Принято определять ширину диапазона измерений как соотношение Q_{\min}/Q_{\max} . У выпускаемых в настоящее время счетчиков ширина диапазона составляет от 1:10 до 1:250 и шире.

От Q_{\min} следует отличать чувствительность (характеристика, как правило, механических приборов) — такой наименьший расход, при котором счетный механизм еще находится в движении и происходит изменение его показаний, но погрешность такого измерения не соответствует нормативной.

По максимальной пропускной способности счетчики газа условно разделяются на бытовые, коммунально-бытовые и промышленные.

Бытовые

С максимальной пропускной способностью от 1 до 6 м³/ч. Чаще всего используют в квартирах, домах, офисах, небольших топочных для локального учёта потребления газа. Это, как правило, небольшие мембранные (камерные, диафрагменные), реже ультразвуковые, струйные, небольшие ротационные счетчики газа.

Коммунально-бытовые

С максимальной пропускной способностью от 10 до 40 м³/ч. Применяются для учёта потребления газа небольшими котельными, технологическими установками и т. п. Это, как правило, более крупные мембранные (камерные, диафрагменные), ротационные, ультразвуковые, струйные счетчики газа.

Промышленные

С максимальной пропускной способностью свыше 40 м³/ч. В основном используются на узлах учёта крупных потребителей — газовых котельных, промышленных и сельхозпредприятий, узлах учёта газораспределительных сетей (ротационные, турбинные, вихревые, ультразвуковые, струйные счетчики газа), на магистральных сетях (сужающие устройства, турбинные, вихревые, ультразвуковые счетчики газа).

Виды бытовых газовых счетчиков по конструкции [1]:

- диафрагменные счетчики;
- ротационные счетчики;
- турбинные счетчики.

Диафрагменный счетчик (мембранный, камерный) - счетчик газа, принцип действия которого основан на том, что при помощи различных подвижных преобразовательных элементов газ разделяют на доли объема, а затем производят их циклическое суммирование.

Достоинства диафрагменных счётчиков: простота в изготовлении, невысокая стоимость мембранных счётчиков, относительно точный подсчёт даже при небольшом использовании газа.

Недостатки диафрагменных счётчиков: счётчики практически не переносят перегрузок (как временных, так и постоянных).

Ротационный счетчик — камерный счетчик газа, в котором в качестве преобразовательного элемента применяются восьмиобразные роторы.

Достоинства ротационных счётчиков: у ротационного счётчика относительно большая пропускная способность при сравнительно небольших размерах и массе, он долговечен и выдерживает некоторые перегрузки.

Недостатки ротационных счётчиков: ротационный газовый счётчик стоит больше, чем иные, из-за дорогостоящих материалов, применяемых для его производства, а также он требует тщательной подгонки всех деталей.

Турбинные счетчики газа — счетчики газа, в которых под воздействием потока газа колесо турбины приводится во вращение, число оборотов которого прямо пропорционально протекающему объему газа. В последнее время счетные механизмы турбинных газовых счетчиков оснащаются модемами, благодаря которым все показания напрямую передаются на серверы проверяющим службам.

На объектах газовой промышленности расход газа и его количество измеряют в основном методом переменного перепада давления на сужающем устройстве, при помощи тахометрических расходомеров и счетчиков, а также в последнее время активно внедряются ультразвуковые расходомеры [2]. Также в современные счетчики расхода природного газа внедряются различные электронные решения для повышения точности измерения и срока службы счетчика [3].

Суть метода переменного перепада давления состоит в измерении перепада давления, до и после сужающего устройства, установленного в потоке газа.

Принцип действия тахометрических расходомеров основан на зависимости скорости вращения преобразователя, установленного в трубопроводе от расхода вещества. Достоинствами таких приборов являются быстродействие, высокая точность, большой диапазон измерений. Погрешность счетчиков составляет $\pm 0,5 - 1,5 \%$, использование

тахометрических преобразователей позволяет снизить погрешность преобразования расхода в частоту вращения преобразователя до $\pm 0,3$ %.

Основной недостаток тахометрических расходомеров – износ опор, наличие подвижных элементов и основной недостаток, по отношению к расходомерам с сужающими устройствами, - необходимость в поверочных установках.

Ультразвуковой метод измерения расхода основан на явлении смещения звукового колебания движущейся средой [4,5].

Метод характеризуется следующими негативными факторами [6]:

- зависимость собственной скорости ультразвуковых колебаний от физико-химических свойств измеряемой среды;
- скорость потока усредняется вдоль ультразвукового пучка, а не по сечению трубы.

Последний фактор заставляет разработчиков снабжать конструкцию дополнительными датчиками или отражателями, что делает расходомер более сложным, возрастает вероятность ошибки работы при выходе из строя датчиков системы. Тем не менее, у данного метода есть ряд достоинств:

1. отсутствие перепада давлений,
2. высокое быстродействие;
3. отсутствие подвижных элементов.

В [2] сообщается, что пока оптимальным способом измерения расхода и количества газа в газовой промышленности является метод переменного перепада давления. Погрешности датчиков перепада давления, абсолютного давления и температуры, а так же вычислителей находятся в пределах от 0,01 до 0,075 % и удовлетворяют нормативным документам.

Принцип действия вихревых расходомеров (счетчиков) основан на преобразовании поступательного движения измеряемой среды в вихревую дорожку Кармана с помощью установленного поперек потока тела обтекания

измерения частоты срыва вихрей [8]. Частота образования вихрей в первом приближении пропорциональна скорости потока, а их количество за промежуток времени – суммарному расходу энергоносителя.

Достоинством вихревых расходомеров является отсутствие каких-либо подвижных элементов внутри трубопровода, достаточно хорошая точность и линейность в широком диапазоне измерений, частотный выходной сигнал, а так же универсальность: один и тот же прибор после градуировки может быть счетчиком и жидкости, и газа, и пара [8 - 10].

В качестве недостатков вихревых счетчиков газа указывается [9,11]:

- повышенная чувствительность к эюре скоростей в точке измерения, а как следствие, необходимость больших прямых участков до и после прибора;
- зависимость линейной области прибора от свойств газа и как следствие, невозможность проведения точных измерений при малых расходах;
- более высокие потери давления при измерениях;
- низкая помехозащищенность от вибрации при малых расходах.

Несомненными преимуществами вихревых расходомеров считаются [9,11]:

- хорошая работа в загрязненных и агрессивных газах;
 - надежность в системах автоматизации технологических процессов, где не требуется высокая точность в широком динамическом диапазоне;
 - устойчивая работа при наличии в газе металлической пыли;
 - невосприимчивость к скачкам давления, расхода, пневмоударам;
 - коммерческий учет расхода пара.
-

В ходе изучения технической информации выяснилось, что все выбранные для рассмотрения марки счётчиков предоставляют примерно одинаковый набор передаваемых параметров.

Принимаемые от счётчиков параметры можно разделить на группы, представленные в таблицах 1 - 4.

Таблица 1 – Исходные данные с прибора учёта газа

Параметры учёта	Значения объема учтённого расхода газа
	Значения объема вычисленного расхода газа
	архив суточных срезов объёмного расхода потреблённого газа
	архив месячных срезов объёмного расхода потреблённого газа
Параметры оперативного контроля	Наличие вмешательства посредством магнитного поля
	Наличие факта вскрытия корпуса
	Возникновение недопустимой температуры
	Повышенный фон радиоканала
Параметры энергоносителя	Температура газа
Параметры состояния	Время прибора учета
	Уровень принимаемого сигнала базовой станции

Таблица 2 – Параметры учёта

Параметр	Ед. изм.	Описание
Значения объема учтённого расхода газа	М3	Значение учтенного расхода газа нарастающим итогом
Значения объема вычисленного расхода газа	М3	Значения объема вычисленного расхода газа, приведенного к стандартным условиям
архив суточных срезов расхода потреблённого газа	Дата, время, М3	(месяц, год, день месяца, часы, минуты) Массив значений учтенного и вычисленного расхода газа по суткам за указанный в запросе период времени
архив месячных срезов расхода потреблённого газа	Дата, время, М3	(месяц, год, день месяца, часы, минуты) Массив значений учтенного и вычисленного расхода газа по месяцам за указанный в запросе период времени

Таблица 3 – Параметры оперативного контроля

Параметр	Ед. изм.	Описание
Наличие вмешательства посредством магнитного поля	Да/Нет	Состояние датчика наличия магнитного поля
Возникновение недопустимой температуры	оС	Превышение заданной верхней либо нижней границы температуры окружающей среды либо газа.
Повышенный фон радиоканала	dBm	Превышение фона радиопомех относительно известного порога чувствительности радиоканала трансивера

Таблица 4 – Параметры состояния

Параметр	Ед. изм.	Описание
Время прибора учета	Дата, время	Время внутренних часов прибора учета газа
Уровень принимаемого сигнала базовой станции	dBm	Фиксация и передача данных уровня сигнала базовой станции при принудительном запросе оператором технических параметров контроля электронной части прибора учета

На российском рынке представлено множество счётчиков газа различных конструкций от разных производителей. Был проведён обзор приборов учёта природного газа со следующими параметрами:

- Максимальный расход газа $Q_{\text{макс}}$ – до $6 \text{ м}^3/\text{ч}$
- Номинальный расход газа $Q_{\text{макс}}$ – до $4 \text{ м}^3/\text{ч}$
- Порог чувствительности – $0,015\text{-}0,03 \text{ м}^3/\text{ч}$
- Диаметр входного и выходного штуцеров – G $1\frac{1}{4}$ дюйма
- Имеющих импульсный или цифровой интерфейс, или встроенный модем.

Таблица 5 – Сравнение приборов учёта

	NPM G4	ОМЕГА G4	УБС Г001	СГБЭТ	СИГМА	ВК G4 T	СГБ М-4
Цена с импульсным выходом, руб.	3 650	4 520	11 045	3 850	-	3 900	2 680
Цена с радиомодулем, руб.	-	-	-	-	6 440	6 800	-
Порог чувствительности, мЗ/ч	0,008	0,002	0,008	0,008	0,008	0,008	0,2
Тип	Диафрагменный	Диафрагменный	Струйный	Диафрагменный	Диафрагменный	Диафрагменный	Струйный
Диапазон рабочих температур, °С	-40...+60	-40...+60	-40...+50	-40...+60	-40...+60	-25...+50	-10...+50
Масса, кг	1,8	1,8	1,7	2,1	2,0	2,1	0,67
Межповоротный интервал, лет	10	10	6	10	10	10	10
Срок службы, лет	20	20	25	20	10	24	12
Гарантийный срок эксплуатации, мес.	24	24	24	36	36	36	12
Термокомпенсация	Нет	Да	Да	Да	Опция	Да	Да
Выход	Импульс	Импульс	RS232	Импульс	RF433	Импульс	Импульс

Продолжение таблицы 5

	ВЕКТОР-М	ВЕКТОР-Т	Гранд SPI	ГЕЛИКО Н
Цена импульсным выходом, руб.	3 750	-	-	4 450
Цена радиомодулем, руб.	-	6 500	6000	-
Порог чувствительности, мЗ/ч	0,008	0,008	0,5	0,1
Тип	Диафрагменный	Диафрагменный	Струйный	Струйный
Диапазон рабочих температур, °С	-40...+55	-40...+55	-20...+60	-10...+50
Масса, кг	2,0	2,0	2,7	2.1
Межповерочный интервал, лет	10	10	10	10
Срок службы, лет	25	25	10	12
Гарантийный срок эксплуатации, мес.	24	24	24	36
Термокомпенсация	Нет	Да	Да	Да
Выход	Импульс	UART, RS232	GPRS	RF433

По вихревым расходомерам природного газа имеются следующие сводки [9]:

Таблица 6 – Характеристики вихревых расходомеров

Характеристика	Тип счетчика газа							
	СВГ. М «Сибна»	Dymetic-9421 «Даймет» «Электрон»	Метран-331 «Метран»	Ирга-РВ «Глобус»	Ирвис-Р4 «Ирвис»	Взлет-ВРС «Взлет»	СГ16 МТ АПЗ	RVG «Эльстер»
Диапазон типоразмеров Ду, мм	50-200	32 -150	32 -150	32-500	50-200	32-100	50-100	40-150



Диапазон измерения расхода по всем типоразмерам, м ³ /час	4 - 10000	6- 5000	6-5000	4- 80000	12- 5000	6 - 2500	10- 2500	0,8-650
Динамический диапазон измерений, Q _{min} : Q _{max}	1: 20, 1:40	1: 30	1: 30	> 1: 40	> 1 :50	1 : 20	1: 20	1:20, 1: 50, 1:100
Максимальное рабочее давление, МПа	2,5	1,6	1,6	1,6; 6,3; 16	1,6	1,6	1,2 и 1,6	1,6
Диапазон температур энергоносителя, °С	-20... +250	-20... +150	-20... +200	-55... +250	-35... +250	-40... +100	-20... +60	-20... +70
Диапазон температур окружающей среды, °С	-40... +50	-40... +50	-40... +50	-55... +60	-35... +50	-40... +70	-40... +50	-30... +70
Межповерочный интервал, лет	2	2	2	4	2	2	2	4
Предел допускаемой основной погрешности, %	± 1	± 1	± 1	± 1	-	± 1,5	-	± 1
От 0,1 Q _{max} до Q _{max}	-	-	-	-	± 1	-	± 1	-
От 0,2 Q _{max} до Q _{max}	± 1,5	± 1,5	± 1,5	± 1,5	-	± 1,5	-	± 2
От Q _{min} до 0,1Q _{min}	-	-	-	-	± 1,3	-	± 2	-
От Q _{min} до 0,2Q _{min}	-	-	-	-	-	-	-	-

Следует также отметить, что газовые счётчики при работе имеют изменчивость, обусловленную температурой внешней среды, т.к. температура приходящего извне газа может существенно отличаться от температуры в помещении, в котором находится счётчик. Для учёта сезонных изменений температуры при коммерческом учёте потребления газа

используется специальный температурный коэффициент, а в самих счётчиках используется механизм температурной компенсации. Коэффициенты устанавливаются Федеральным агентством по техническому регулированию и метрологии один раз в полугодие, и действительны только для приборов учета без температурной компенсации, устанавливаемых вне помещений. В [12] приведены расчёты, которые позволяют заключить, что механизм расчёта коэффициентов имеет недостаток, связанный с невозможностью точно предсказать изменения температуры в следующем полугодии, что может создавать дополнительные расходы для потребителей. Исправить это можно, используя счётчики с термокомпенсацией.

Температурная компенсация в газовых счетчиках возможна механическим и электрическим путем. В случае, когда она производится механически, то в измерительный механизм монтируется пружина, коэффициент упругости которой зависит от температуры окружающего газа. В случае электронной компенсации в рабочий объем монтируется температурный датчик, который измеряет температуру газа, а затем компенсация происходит в цифровом виде.

При выполнении совместного проекта Научно-производственного предприятия космического приборостроения «Квант» и Южного федерального университета, при реализации функции температурной коррекции для приборов учета потребления природного газа встала задача в аналитической оценке погрешности измерений температуры газа. Основная сложность заключается в том, что при любых вариантах расположения чувствительного элемента (датчика температуры), при условии, что соединительные проводники не находятся внутри рабочего объема счетчика, измерения являются косвенными. Иными словами, измеряется температура корпуса или гильзы датчика температуры, а не самого газа. При этом через корпус или гильзу осуществляется отвод тепла. Поэтому результат

измерения температуры будет иметь некоторое среднее значение между температурой газа и температурой корпуса, которая в свою очередь зависит от температуры газа, скорости потока газа внутри счетчика и температуры внешней среды.

Для применения в автоматизированных системах учета расхода энергоресурсов счетчики газа должны иметь беспроводные каналы связи, чтобы оперативно передавать данные о расходе на концентраторы и, далее, на сервер системы учета [13]. При этом становится значимой проблема энергопотребления счетчика и модуля беспроводной передачи данных. Одним из вариантов решения задачи может являться передача данных через Bluetooth Low-Energy при условии нахождения концентратора в квартире или на лестничной клетке, также могут быть задействованы IoT-модули при условии точного расчета энергопотребления счетчика.

Из проведенного анализа видно, что рынок бытовых счетчиков газа в ценовом диапазоне имеет две ниши: 2600-4500 рублей и 6000 рублей и выше. Причем это разделение обусловлено отнюдь не точностными характеристиками, а сервисными функциями. То есть можно сделать вывод, что потребитель чаще согласен платить за удобство эксплуатации, а не за реальную экономию.

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки РФ в рамках реализации проекта «Разработка и создание высокотехнологичного производства инновационной системы комплексного учета, регистрации и анализа потребления энергоресурсов и воды промышленными предприятиями и объектами ЖКХ» по постановлению правительства №218 от 09.04.2010 г. Работа выполнялась во ФГАОУ ВО ЮФУ.

Литература

1. Счётчики газа. - Газовик. Промышленное газовое оборудование. URL: gazovik-gas.ru/katalog/464 (дата обращения: 1.12.2017).
2. Даев Ж.А. Сравнительный анализ методов и средств измерения расхода газа. // Электронный научный журнал «Нефтегазовое дело». 2010. №1. URL: ogbus.ru/authors/Daev/Daev_2.pdf (дата обращения: 26.11.2017).
3. Gas metering solutions from Texas Instruments // Texas Instruments. URL: ti.com/solution/gas_meter (circulation date: 8.12.2017).
4. Кремлевский П.П. Расходомеры и счетчики количества веществ. - СПб.: Политехника, 2002. 410 с.
5. Laurentiu Gavra, Monica Crainic, Petru Pupsa, Gheorghe Popa. Residential smart gas meters. Electronic and Telecommunications (ISETC), 2012 10th International Symposium. pp. 37-40.
6. Бобровников Г.Н., Новожилов Б.М., Сарафанов В.Г. Бесконтактные расходомеры. М.: Машиностроение, 1985. 128 с.
7. Биргер Г.И., Бражников Н.И. Ультразвуковые расходомеры. - М.: Металлургия, 1964. 382 с.
8. Маштаков Б.П., Грикевич А.В. Вихревые расходомеры с телом обтекания. Перспективы вихревой расходомерии. // Приборы и системы управления. – 1990. №12. – С.24-26.
9. Богуш М.В. Успехи вихревой расходомерии. - М.: Приборы, 2007. №8. С.24-32.
10. Абрамов Г.С., Барычев А.В., Зимин М.И. Практическая расходомерия в промышленности – М.: ОАО ВНИИОЭНГ, 2000. - 472 с.
11. Золотаревский С.А. О применимости вихревого метода измерения расхода для коммерческого учета газа. // Энергоанализ и энергоэффективность. 2006.- №1(14). С. 57-59.

12. Беляев А.О., Ковтун Д.Г. Электронная температурная коррекция объема в приборах учета потребления природного газа // Инженерный вестник Дона, 2016. №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2016/3837.

13. Горбунова Е.Б., Синютин Е.С. Разработка имитационной модели радиоканала для передачи данных от приборов учета к GSM-концентраторам в инновационной системе комплексного учета, регистрации и анализа потребления энергоресурсов и воды промышленными предприятиями и объектами ЖКХ. // Инженерный вестник Дона. 2016. №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2016/3836.

References

1. Schotchiki gaza. Gazovik. Promyshlennoye gazovoye oborudovaniye [Gas meters. Gas engine. Industrial gas equipment]. URL: gazovik-gas.ru/katalog/464.

2. Dayev Zh.A. Neftegazovoye delo, 2010. №1. URL: ogbus.ru/authors/Daev/Daev_2.pdf.

3. Gas metering solutions from Texas Instruments. Texas Instruments. URL: ti.com/solution/gas_meter.

4. Kremlevskiy P.P. Raskhodomery i schetchiki kolichestva veshchestv [Flowmeters and counters of the amount of substances]. SPb.: Politekhnik, 2002. 410 p.

5. Laurentiu Gavra, Monica Crainic, Petru Pupsa, Gheorghe Popa. Residential smart gas meters. Electronic and Telecommunications (ISETC), 2012 10th International Symposium.

6. Bobrovnikov G.N., Novozhilov B.M., Sarafanov V.G. Beskontaknyye raskhodomery. [Non-contact flowmeters] M.: Mashinostroyeniye, 1985. 128 p.

7. Birger G.I., Brazhnikov N.I. Ul'trazvukovyye raskhodomery. [Ultrasonic flowmeters] M.: Metallurgiya, 1964. 382 p.

8. Mashtakov B.P., Grikevich A.V. Pribory i sistemy upravleniya. 1990. №12. pp.24-26.



9. Bogush M.V. M.: Pribory, 2007. №8. pp. 24-32.
10. Abramov G.S., Barychev A.V., Zimin M.I. Prakticheskaya raskhodometriya v promyshlennosti [Practical flow measurement in industry] M.: OAO VNIIOENG, 2000. 472 p.
11. Zolotarevskiy S.A. Energoanaliz i energoeffektivnost'. 2006. №1(14). pp. 57-59.
12. Belyayev A.O., Kovtun D.G. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2016. №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2016/3837.
13. Gorbunova Ye.B., Sinyutin Ye.S. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2016. №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2016/3836.