

УДК 681.518.5

Зорин Даниил Леонидович, студент каф. КСУП, ТУСУР, г. Томск

Карелин Алексей Евгеньевич, научный руководитель, доцент каф. КСУП, к.

т. н., ТУСУР, г. Томск

РАСЧЁТ РАСХОДА ГАЗА С ПРИВЕДЕНИЕМ К СТАНДАРТНЫМ УСЛОВИЯМ В АСУ ТП КОМПРЕССОРНОЙ СТАНЦИИ

Аннотация

Рассматривается алгоритм расчёта объёмного расхода газа с приведением к стандартным условиям, реализованный в ПЛК. На примере измерительной линии азота описаны этапы обработки сигнала.

Ключевые слова: расход газа, приведение к стандартным условиям, ПЛК, функциональный блок, класс точности, погрешность.

Для коммерческого учёта и оперативного контроля потребления азота и природного газа необходимо приводить измеренный объёмный расход к стандартным условиям (температура 20 °С, абсолютное давление 1,01325 бар). В статье рассматривается обработка сигнала линии подачи азота. На основе предоставленных данных приводятся параметры настройки функциональных блоков, численные значения расхода, давления и температуры, а также выполняется оценка метрологической достоверности.

1. Первичная обработка сигнала расходомера

Измерение расхода азота осуществляется с помощью расходомера переменного перепада давления. Первичный сигнал, ток 4–20 мА – поступает на аналоговый входной модуль контроллера. Для рассматриваемой линии зафиксировано значение тока $I=4,07$ мА. Нормализация сигнала выполняется функциональным блоком масштабирования. Параметры блока: нижняя граница входного тока $I_{\min}=4,0$ мА, верхняя граница $I_{\max}=20,0$ мА; выходные границы – от 0 до 1. Масштабирование осуществляется по формуле:

$$U = \frac{I - I_{min}}{I_{max} - I_{min}} = \frac{4,07 - 4,0}{20,0 - 4,0} = 0,0045$$

Для расходомеров переменного перепада объёмный расход пропорционален квадратному корню из перепада. Поэтому из нормализованного сигнала извлекается квадратный корень с помощью блока SQR. Входное значение блока $U_{вх} = 0,0045$, выходное – $U_{корень} = 0,067$.

Выполняется масштабирование в инженерные единицы с помощью второго блока масштабирования. Параметры: входной диапазон – от 0 до 1, выходной – от 0 до 41 м³/ч. Вход блока $U_{корень} = 0,067$. Преобразование:

$$Q_{раб} = \frac{0,067 - 0}{1 - 0} \cdot (41 - 0) + 0 = 2,75 \text{ м}^3/\text{ч}$$

Полученное значение $Q_{раб} = 2,75 \text{ м}^3/\text{ч}$ – объёмный расход азота при рабочих условиях.

2. Классы точности средств измерений

В соответствии с ГОСТ Р 8.586.5-2005 для расходомеров переменного перепада давления установлены классы точности 0,5; 1,0; 1,5; 2,0. В проекте применён расходомер класса 1,0, что соответствует приведённой относительной погрешности $\delta Q = \pm 1,0\%$.

Датчики давления (абсолютного) по ГОСТ 8.401-80 имеют класс точности 0,5. Верхний предел измерения – 16 бар. Приведённая погрешность составляет $\pm 0,5\%$ от верхнего предела, абсолютная погрешность $\Delta P = 0,08$ бар.

Датчики температуры – термопреобразователи сопротивления по ГОСТ 6651-2009 класса В с погрешностью $\pm 0,3$ °С.

3. Приведение расхода к стандартным условиям

Расчёт приведённого расхода выполняется в подпрограмме, код которой основан на ГОСТ Р 8.740-2011. Метод рTZ, где факторы сжимаемости приняты равными 1.

Подпрограмма получает следующие входные параметры: $Q_{раб}$ – рабочий расход (м³/ч); P – абсолютное давление газа (бар); T – температура газа (°С); k – коэффициент пересчёта единиц давления в бары (для датчиков, уже выдающих

давление в барах, $k=1$); P_0 – поправка для перевода избыточного давления в абсолютное (1,01325 бар для датчиков избыточного давления, 0 – для абсолютных). Выходной параметр – приведённый расход Q_c (м³/ч). Формула расчёта:

$$Q_c = Q_{\text{раб}} \cdot \frac{k \cdot P + P_0}{1,01325} \cdot \frac{293,15}{273,15 + t}$$

Для рассматриваемой линии получены следующие значения:

$Q_{\text{раб}}=2,75$ м³/ч; $P=6,24$ бар; $t=38,63$ °C; $k=1$; $P_0=0$.

$$Q_c = 2,75 \cdot \frac{6,24}{1,01325} \cdot \frac{293,15}{273,15 + 38,63} = 15,94 \text{ м}^3/\text{ч}$$

Таким образом, приведённый расход составляет $Q_c=15,94$ м³/ч.

4. Накопление суммарного объёма и сигнализация

Накопление суммарного объёма газа, прошедшего через измерительный участок, реализовано функциональным блоком сумматора. Для рассматриваемой линии блок имеет входное значение приведённого расхода $Q_c=15,94$ м³/ч и накопленное значение $V_{\text{total}}=13496,4$ м³. Параметры блока: временная база – часы, коэффициент усиления – 1. Алгоритм сумматора в каждом цикле задачи вычисляет приращение объёма:

$$\Delta V = Q_c \cdot \frac{\Delta t}{3600}$$

и добавляет его к накопленному значению.

5. Оценка суммарной погрешности

$$\frac{\Delta Q_c}{Q_c} = \sqrt{\left(\frac{\Delta Q_{\text{раб}}}{Q_{\text{раб}}}\right)^2 + \left(\frac{\Delta P}{P}\right)^2 + \left(\frac{\Delta T}{T}\right)^2}$$

где:

$\frac{\Delta Q_{\text{раб}}}{Q_{\text{раб}}} = 0,01$, класс точности расходомера 1,0;

$\frac{\Delta P}{P} = \frac{0,08}{6,24} = 0,013$, абсолютная погрешность датчика давления 0,08 бар при

измеренном давлении 6,24 бар;

$\frac{\Delta T}{T} = \frac{0,3}{311,78} = 0,00096$, абсолютная погрешность 0,3 °С при абсолютной температуре 311,78 К.

В результате расчетов относительная погрешность составляет 1,63%. Абсолютная погрешность для измеренного расхода 15,94 м³/ч:

$$\Delta Q_c = 15,94 \cdot 0,0163 = 0,26 \text{ м}^3/\text{ч}$$

Истинное значение приведённого расхода лежит в интервале 15,68...16,20 м³/ч с доверительной вероятностью 0,95. Полученная точность достаточна для задач технического учёта и мониторинга.

В результате данной работы была разработана подпрограмма для ПЛК представленная на рисунке 1, 2, которая позволяет приводить объёмный расход газа к стандартным условиям. Применение стандартных функциональных блоков обеспечивает унификацию решения для всех измерительных каналов. Оценка погрешности, выполненная с учётом классов точности средств измерений по ГОСТ, показала относительную погрешность приведённого расхода около 1,6%, что подтверждает метрологическую достоверность системы.

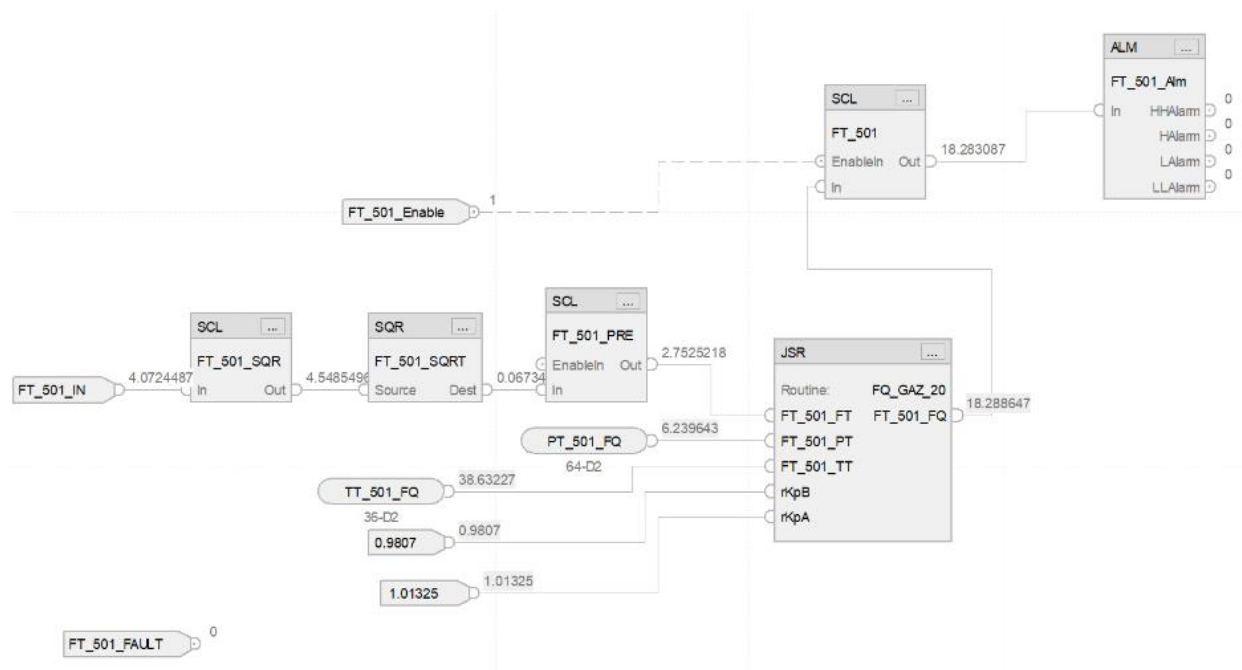


Рисунок 1 – Программа обработки параметра расхода

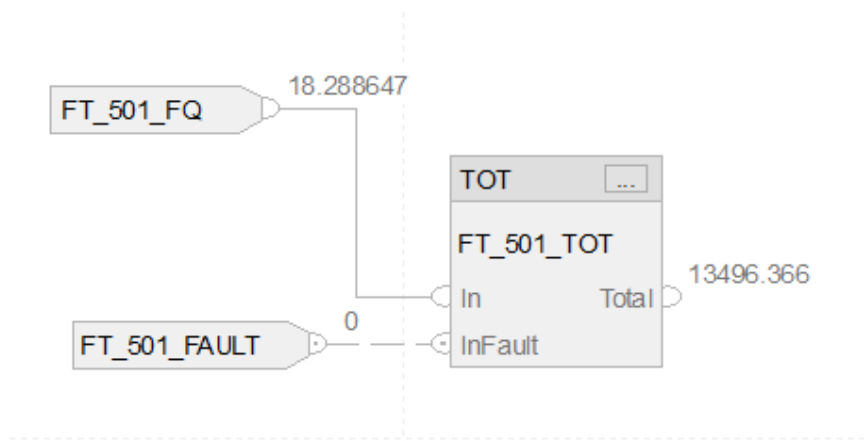


Рисунок 2 – Программа обработки накопительных данных

Литература

1. ГОСТ Р 8.586.5-2005. Измерение расхода и количества жидкостей и газов с помощью стандартных сужающих устройств. – М.: Стандартинформ, 2006.
2. ГОСТ 8.401-80. Государственная система обеспечения единства измерений. Классы точности средств измерений. – М.: Издательство стандартов, 1981.
3. ГОСТ 6651-2009. Термопреобразователи сопротивления из платины, меди и никеля. – М.: Стандартинформ, 2010.
4. ГОСТ Р 8.740-2011. Расход и количество газа. Методика измерений с помощью турбинных, ротационных и вихревых расходомеров. – М.: Стандартинформ, 2013.
5. Латышенко К.П. Измерение расхода жидкостей и газов: учебник для вузов. 3-е изд., испр. и доп. Москва: Юрайт, 2025. 135 с.

Literature

1. GOST R 8.586.5-2005. Measuring the flow and quantity of liquids and gases using standard constricting devices. Moscow: Standartinform, 2006.
2. GOST 8.401-80. The state system of ensuring the uniformity of measurements. Accuracy classes of measuring instruments. Moscow: Publishing House of Standards, 1981.

3. GOST 6651-2009. Thermal resistance converters made of platinum, copper and nickel. Moscow: Standartinform, 2010.
4. GOST R 8.740-2011. Gas consumption and quantity. Measurement methods using turbine, rotary and vortex flowmeters. Moscow: Standartinform, 2013.
5. Latyshenko K.P. Measuring the flow of liquids and gases: a textbook for universities. 3rd ed., ispr. and add. Moscow: Yurait, 2025. 135 p.