

Теплоэнергоконтроллер ТЭКОН-17
Алгоритмы расчета
Технические газы. Диоксид углерода
T10.06.52 РР-Д1



Екатеринбург

2007

Редакция 21.00 от 18.06.2007
© ИВП КРЕЙТ, 2000-2007г.

СОДЕРЖАНИЕ

| | |
|---|----------|
| ВВЕДЕНИЕ | 4 |
| 1 ОБЩИЙ ПОРЯДОК РАСЧЕТА | 4 |
| 2 ХАРАКТЕРИСТИКИ ДИОКСИДА УГЛЕРОДА | 5 |
| 2.1 ПЛОТНОСТЬ В РАБОЧИХ УСЛОВИЯХ | 5 |
| 2.2 КОЭФФИЦИЕНТ СЖИМАЕМОСТИ | 6 |
| 2.3 ДИНАМИЧЕСКАЯ ВЯЗКОСТЬ..... | 6 |
| 2.4 ПОКАЗАТЕЛЬ АДИАБАТЫ | 6 |
| 2.5 КОЭФФИЦИЕНТ РАСШИРЕНИЯ | 7 |
| 3 РАСЧЕТ РАСХОДА | 7 |
| 3.1 ОБЪЕМНЫЙ РАСХОД | 7 |
| 3.2 МАССОВЫЙ РАСХОД..... | 7 |
| ПЕРЕЧЕНЬ ССЫЛОЧНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ..... | 8 |

ВВЕДЕНИЕ

В документе описан способ расчета теплоэнергоконтроллером ТЭКОН-17 (далее по тексту ТЭКОН) объемного и массового расхода газообразного диоксида углерода как технического газа методом переменного перепада давления на сужающем устройстве (диафрагме) в соответствии с [2-4]. Настоящий документ является дополнением к ранее выпущенному документу [1] «Теплоэнергоконтроллер ТЭКОН-17. Алгоритмы расчета Т10.06.52РР» и должен рассматриваться только совместно с ним.

Данный документ соответствует версии алгоритмов расчета 21.x1, где «x» – произвольная цифра.

1 ОБЩИЙ ПОРЯДОК РАСЧЕТА

1.1 На каждом цикле рабочей программы ТЭКОН для вычисления расхода любого технического газа, в том числе и диоксида углерода, выполняются следующие действия:

- Необходимые для расчета данные по температуре, давлению, перепаду давления и т.п. определяются и согласуются, как это описано в разделе 1 [1].
- Вычисляются основные характеристики расходомерного узла по формулам раздела 2 [1].
- Определяются термодинамические характеристики среды (в данном случае диоксида углерода) по формулам, приведенным ниже.
- Рассчитывается и корректируется действительный мгновенный расход через сужающее устройство в объемных единицах (кубометрах в час), приведенных к нормальным условиям. Для этого используются формулы, приведенные в разделе 4 [1] для природного газа.
- Взамен теплового эквивалента рассчитывается массовый расход в килограммах по формулам, приведенным ниже.
- Объемный и массовый расходы накапливаются и усредняются по формулам раздела 6 [1].

1.2 Алгоритмы расчета диоксида углерода в диапазоне температур от минус 3 до плюс 70 градусов Цельсия и абсолютных давлений от 0.1 до 5.0 МПа обеспечивают точность не хуже 0.2%. Слежение за нахождением рабочих параметров среды в зоне газообразного состояния диоксида углерода не предусмотрено. Расчетная область ТЭКОН-17 изображена на рисунке 1.

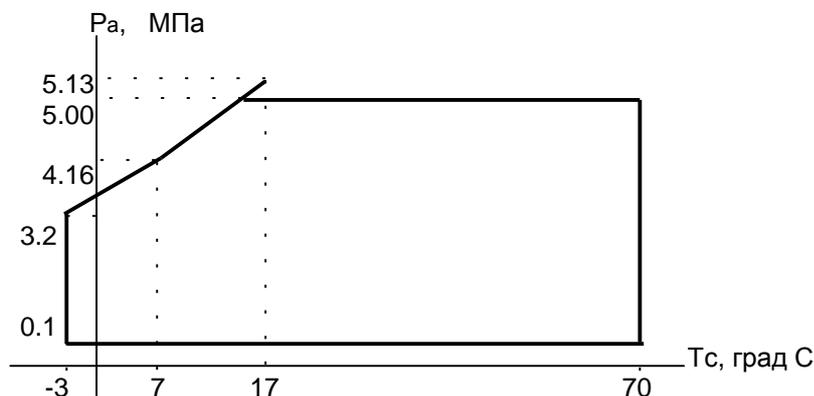


Рисунок 1

2 ХАРАКТЕРИСТИКИ ДИОКСИДА УГЛЕРОДА

2.1 Плотность в рабочих условиях

Плотность в рабочих условиях ρ , кг/м³, вычисляется путем аппроксимации и интерполяции табличных данных, приведенных в [6]. Вычисления производятся в два этапа. На первом этапе производится аппроксимация плотности ρ_t , кг/м³, в функции температуры для двух табличных значений абсолютного давления $P_{лев}$ и $P_{пр}$, ближайших к текущему абсолютному давлению P_a . Значения табличного давления выбираются из ряда: 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.65, 0.8, 1.0, 1.3, 1.6, 2.0, 2.5, 3.0, 3.5, 4.0, 4.5, 5.0, 5.5 МПа. Для аппроксимации используется полином вида:

$$\rho_t = \begin{cases} 1/(A \cdot t^2 + B \cdot t + C) & \text{при } P_a < 3 \text{ МПа} \\ 1/(A/\exp(X) + B \cdot \ln(X) + C/X + D) & \text{при } P_a \geq 3 \text{ МПа,} \end{cases} \quad (2.1)$$

где $t = T_c$ температура в градусах Цельсия,
 $X = T_a/10$,
 T_a - абсолютная температура, градусов Кельвина.

Коэффициенты аппроксимации сведены в таблицу 2.1.

Таблица 2.1

| Давление, МПа | A | B | C | D |
|---------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 0.1 | -144.14*10 ⁻⁹ | 1.917*10 ⁻³ | 512.61*10 ⁻³ | - |
| 0.2 | -111.23*10 ⁻⁹ | 972.85*10 ⁻⁶ | 254.53*10 ⁻³ | - |
| 0.3 | -114.77*10 ⁻⁹ | 658.45*10 ⁻⁶ | 168.51*10 ⁻³ | - |
| 0.4 | -117.99*10 ⁻⁹ | 501.48*10 ⁻⁶ | 125.48*10 ⁻³ | - |
| 0.5 | -122.23*10 ⁻⁹ | 407.65*10 ⁻⁶ | 99.660*10 ⁻³ | - |
| 0.65 | -128.35*10 ⁻⁹ | 321.08*10 ⁻⁶ | 75.819*10 ⁻³ | - |
| 0.8 | -132.24*10 ⁻⁹ | 267.30*10 ⁻⁶ | 60.902*10 ⁻³ | - |
| 1.0 | -143.09*10 ⁻⁹ | 221.34*10 ⁻⁶ | 47.958*10 ⁻³ | - |
| 1.3 | -159.50*10 ⁻⁹ | 179.74*10 ⁻⁶ | 35.979*10 ⁻³ | - |
| 1.6 | -180.20*10 ⁻⁹ | 154.90*10 ⁻⁶ | 28.456*10 ⁻³ | - |
| 2.0 | -216.44*10 ⁻⁹ | 135.29*10 ⁻⁶ | 21.883*10 ⁻³ | - |
| 2.5 | -220.51*10 ⁻⁹ | 118.53*10 ⁻⁶ | 16.588*10 ⁻³ | - |
| 3.0 | -176.67*10 ⁶ | 27.621*10 ⁻³ | 0 | -78.173*10 ⁻³ |
| 3.5 | -209.58*10 ⁶ | 8.8912*10 ⁻³ | -517.15*10 ⁻³ | 0 |
| 4.0 | -514.16*10 ⁶ | 7.9980*10 ⁻³ | -488.68*10 ⁻³ | 0 |
| 4.5 | -1.0517*10 ⁹ | 7.3035*10 ⁻³ | -466.81*10 ⁻³ | 0 |
| 5.0 | -1.9245*10 ⁹ | 6.7507*10 ⁻³ | -449.80*10 ⁻³ | 0 |
| 5.5 | -2.9823*10 ⁹ | -644.86*10 ⁻³ | 0 | 28.352*10 ⁻³ |

На втором этапе производится линейная интерполяция плотности по абсолютному давлению по формулам:

$$d\rho = (P_a - P_{пр}) / (P_{лев} - P_{пр}), \quad (2.2)$$

$$\rho = \rho_{пр} + (\rho_{лев} - \rho_{пр}) * d\rho, \quad (2.3)$$

где $\rho_{лев}$ – плотность на левой границе интервала интерполяции, при давлении $P_{лев} \leq P_a$;
 $\rho_{пр}$ – плотность на правой границе интервала интерполяции, при давлении $P_{пр} \geq P_a$.

Для повышения точности при давлении более 2 МПа, когда шаг табличных давлений достаточно велик, линейная интерполяция заменяется параболической, и величина $d\rho$ пересчитывается по формуле с эмпирически подобранным коэффициентом K:

$$d\rho = d\rho * ((1+K) - d\rho * K), \quad (2.4)$$

где

$$K = \begin{cases} 0.05 & \text{при } 2 < P_a < 3 \text{ МПа} \\ 0.1 & \text{при } P_a \geq 3 \text{ МПа} \end{cases} \quad (2.5)$$

2.2 Коэффициент сжимаемости

Коэффициент сжимаемости диоксида углерода $K_{сж}$, согласно [5], определяется по формуле

$$K_{сж} = \frac{\rho_c * P_a * T_H}{\rho * P_H * T_a}, \quad (2.6)$$

где

$$\rho_c = 1.8393 \text{ кг/м}^3 \quad \text{плотность диоксида углерода при нормальных условиях} \quad (2.7)$$

$$T_H = 293.15 \text{ К} \quad (2.8)$$

$$P_H = 0.101325 \text{ МПа.} \quad (2.9)$$

2.3 Динамическая вязкость

2.3.1 Приведенная температура [6]

$$\tau = T_a / T_{кр}, \quad (2.10)$$

где $T_{кр} = 304.2 \text{ К.}$ (2.11)

2.3.2 Приведенная плотность [6]

$$\omega = \rho / \rho_{кр}, \quad (2.12)$$

где $\rho_{кр} = 468 \text{ кг/м}^3.$ (2.13)

2.3.3 Динамическая вязкость [7]

$$\mu = \mu_0(\tau) + d\mu(\tau, \omega). \quad (2.14)$$

Первое слагаемое $\mu_0(\tau)$, характеризующее свойства диоксида углерода в разреженном состоянии, вычисляется по следующей формуле

$$\mu_0(\tau) = -102.05 * \tau^{-1.5} + 472.88 * \tau^{-1} - 744.72 * \tau^{-0.5} + 364.05 + 135.40 * \tau^{0.5} + 26.609 * \tau \quad (2.15)$$

Избыточная составляющая вязкости $d\mu(\tau, \omega)$ вычисляется по формуле

$$d\mu(\tau, \omega) = 80.1682 * \omega - 59.3028 * \omega * \tau^{-2} + 139.535 * \omega^2 * \tau^{-2} + 226.949 * \omega^3 - 171.741 * \omega^3 * \tau^{-2} - 273.900 * \omega^4 + \\ + 209.934 * \omega^4 * \tau^{-1} + 113.422 * \omega^5 - 133.778 * \omega^5 * \tau^{-1} + 47.1785 * \omega^5 * \tau^{-2} \quad (2.16)$$

2.4 Показатель адиабаты

Показатель адиабаты вычисляется на основе формулы для природного газа, в которой положено $X_a=1$

$$k = 1.28857 - 0.0001248 * T_a + 26.4 * (P_a / T_a)^{1.43} \quad (2.17)$$

2.5 Коэффициент расширения

Коэффициент расширения ε вычисляется, как и для природного газа и водяного пара, по общей формуле согласно [2-4]:

$$\varepsilon = 1 - (0.351 + 0.256*\beta^4 + 0.93*\beta^8)*[1 - (1 - 0.001*dP/Pa)^{1/K}] \quad (2.18)$$

3 РАСЧЕТ РАСХОДА

3.1 Объемный расход

Объемный расход диоксида углерода G_k' в кубометрах в час, приведенный к нормальным условиям, рассчитывается по формулам раздела 4 [1], относящимся к природному газу. Вычисление числа Рейнольдса, коррекция расхода по числу Рейнольдса, коэффициентам притупления и шероховатости также производится в полном соответствии с формулами, приведенными в этом разделе.

3.2 Массовый расход

Массовый расход диоксида углерода рассчитывается взамен теплового эквивалента природного газа (тепловой мощности). Расчетная формула для мгновенного массового расхода Q_{mg} , кг/час

$$Q_{mg} = \rho_c * G_k' \quad (3.1)$$

ПЕРЕЧЕНЬ ССЫЛОЧНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Теплоэнергоконтроллер ТЭКОН-17. Алгоритмы расчета Т10.06.52РР.
Редакция 21.00. ИВП «КРЕЙТ», г. Екатеринбург, 2007 г.
2. ГОСТ 8.586.1-2005.
Измерение расхода и количества жидкостей и газов с помощью стандартных сужающих устройств. Часть 1. Принцип метода измерений и общие требования.
3. ГОСТ 8.586.2-2005.
Измерение расхода и количества жидкостей и газов методом с помощью стандартных сужающих устройств. Часть 2. Диафрагмы. Технические требования.
4. ГОСТ 8.586.5-2005.
Измерение расхода и количества жидкостей и газов с помощью стандартных сужающих устройств. Часть 5. Методика выполнения измерений.
5. ГОСТ 30319.1-96
Газ природный. Методы расчета физических свойств.
Определение физических свойств природного газа, его компонентов и продуктов его переработки.
6. ГСССД 96-86
Диоксид углерода жидкий и газообразный.
Плотность, фактор сжимаемости, энтальпия, энтропия, изобарная теплоемкость, скорость звука и коэффициент объемного расширения при температурах 220 .. 1300 К и давлениях 0,1 ... 100 МПа.
7. ГСССД 110-87
Диоксид углерода.
Коэффициенты динамической вязкости и теплопроводности при температурах 220 ... 1000 К и давлениях от соответствующих разреженному газу до 100 МПа.