

Теплоэнергоконтроллер ТЭКОН-17

Алгоритмы расчета

Технические газы. Воздух

T10.06.52 РР-ДЗ



Екатеринбург

2007

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

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
1 ОБЩИЙ ПОРЯДОК РАСЧЕТА	4
2 ХАРАКТЕРИСТИКИ ВОЗДУХА	4
2.1 Плотность в рабочих условиях	4
2.2 Коэффициент сжимаемости	5
2.3 Динамическая вязкость.....	5
2.4 Показатель адиабаты	7
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 сухого газообразного воздуха 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.

Настоящий документ соответствует версии алгоритмов расчета 21.х3, где «х» – произвольная цифра.

1 ОБЩИЙ ПОРЯДОК РАСЧЕТА

1.1 На каждом цикле рабочей программы ТЭКОН для вычисления расхода любого технического газа, в том числе и воздуха, 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 воздуха) 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 энергоносителя рассчитывается массовый расход технического газа в килограммах по формулам, приведенным ниже.
- Объемный и массовый расходы накапливаются и усредняются по формулам раздела 6 [1].

1.2 Алгоритмы расчета расхода воздуха в диапазоне температур от минус 50 до плюс 120 градусов Цельсия и абсолютных давлений от 0.1 до 20.0 МПа обеспечивают точность не хуже 0.2%.

2 ХАРАКТЕРИСТИКИ ВОЗДУХА

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 с помощью полинома вида

$$\rho_T = 1/(A \cdot T_c^2 + B \cdot T_c + C) \quad (2.1)$$

производится аппроксимация плотности в функции температуры T_c , выраженной в градусах Цельсия, для двух значений абсолютного давления $P_{лев}$ и $P_{пр}$, ближайших к текущему давлению P_a , и выбранных из ряда: 0.1; 0.5; 1.0; 2.0; 3.0; 4.0; 5.0; 6.0; 8.0; 10.0; 12.0; 15.0; 17.0; 20.0 МПа. Для повышения точности аппроксимация производится отдельно для положительных и отрицательных температур; коэффициенты аппроксимации сведены в таблицу 2.1.

На втором этапе производится линейная интерполяция плотности по абсолютному давлению P_a по формуле:

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

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 $P_{пр} \geq P_a$.

Таблица 2.1

Давление, МПа	А		В		С	
	$T_c < 0$	$T_c \geq 0$	$T_c < 0$	$T_c \geq 0$	$T_c < 0$	$T_c \geq 0$
0.1	$306.98 \cdot 10^{-9}$	$99.861 \cdot 10^{-9}$	$2.91 \cdot 10^{-3}$	$2.859 \cdot 10^{-3}$	$784.95 \cdot 10^{-3}$	$784.78 \cdot 10^{-3}$
0.5	$-66.198 \cdot 10^{-9}$	$-20.242 \cdot 10^{-9}$	$581.73 \cdot 10^{-6}$	$582.24 \cdot 10^{-6}$	$156.37 \cdot 10^{-3}$	$156.38 \cdot 10^{-3}$
1.0	$-67.893 \cdot 10^{-9}$	$-22.312 \cdot 10^{-9}$	$294.64 \cdot 10^{-6}$	$295.23 \cdot 10^{-6}$	$77.967 \cdot 10^{-3}$	$77.972 \cdot 10^{-3}$
2.0	$-69.632 \cdot 10^{-9}$	$-20.367 \cdot 10^{-9}$	$150.92 \cdot 10^{-6}$	$151.39 \cdot 10^{-6}$	$38.780 \cdot 10^{-3}$	$38.789 \cdot 10^{-3}$
3.0	$-72.185 \cdot 10^{-9}$	$-20.194 \cdot 10^{-9}$	$102.87 \cdot 10^{-6}$	$103.39 \cdot 10^{-6}$	$25.736 \cdot 10^{-3}$	$25.744 \cdot 10^{-3}$
4.0	$-75.810 \cdot 10^{-9}$	$-19.547 \cdot 10^{-9}$	$78.679 \cdot 10^{-6}$	$79.300 \cdot 10^{-6}$	$19.225 \cdot 10^{-3}$	$19.235 \cdot 10^{-3}$
5.0	$-78.700 \cdot 10^{-9}$	$-19.382 \cdot 10^{-9}$	$64.082 \cdot 10^{-6}$	$64.835 \cdot 10^{-6}$	$15.327 \cdot 10^{-3}$	$15.338 \cdot 10^{-3}$
6.0	$-81.046 \cdot 10^{-9}$	$-19.062 \cdot 10^{-9}$	$54.264 \cdot 10^{-6}$	$55.130 \cdot 10^{-6}$	$12.736 \cdot 10^{-3}$	$12.747 \cdot 10^{-3}$
8.0	$-81.025 \cdot 10^{-9}$	$-18.311 \cdot 10^{-9}$	$41.979 \cdot 10^{-6}$	$42.881 \cdot 10^{-6}$	$9.5151 \cdot 10^{-3}$	$9.5268 \cdot 10^{-3}$
10.0	$-74.749 \cdot 10^{-9}$	$-17.529 \cdot 10^{-9}$	$34.596 \cdot 10^{-6}$	$35.402 \cdot 10^{-6}$	$7.6029 \cdot 10^{-3}$	$7.6132 \cdot 10^{-3}$
12.0	$-62.173 \cdot 10^{-9}$	$-16.350 \cdot 10^{-9}$	$29.767 \cdot 10^{-6}$	$30.251 \cdot 10^{-6}$	$6.3470 \cdot 10^{-3}$	$6.3551 \cdot 10^{-3}$
15.0	$-39.538 \cdot 10^{-9}$	$-14.150 \cdot 10^{-9}$	$24.920 \cdot 10^{-6}$	$24.839 \cdot 10^{-6}$	$5.1199 \cdot 10^{-3}$	$5.1236 \cdot 10^{-3}$
17.0	$-26.441 \cdot 10^{-9}$	$-12.791 \cdot 10^{-9}$	$22.487 \cdot 10^{-6}$	$22.487 \cdot 10^{-6}$	$4.5570 \cdot 10^{-3}$	$4.5590 \cdot 10^{-3}$
20.0	$-11.207 \cdot 10^{-9}$	$-10.755 \cdot 10^{-9}$	$19.542 \cdot 10^{-6}$	$19.027 \cdot 10^{-6}$	$3.9426 \cdot 10^{-3}$	$3.9417 \cdot 10^{-3}$

2.2 Коэффициент сжимаемости

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

$$K_{сж} = \frac{\rho_c \cdot P_a \cdot T_n}{\rho \cdot P_n \cdot T_a}, \quad (2.3)$$

где

$$\rho_c = 1.20445 \text{ кг/м}^3 \quad \text{плотность воздуха при нормальных условиях} \quad (2.4)$$

$$T_n = 293.15 \text{ К} \quad (2.5)$$

$$P_n = 0.101325 \text{ МПа.} \quad (2.6)$$

2.3 Динамическая вязкость

Динамическая вязкость μ , Па·с, вычисляется с помощью аппроксимирующего полинома

$$\mu = [(A_0 \cdot T_c + A_1) \cdot P_a + (A_2 \cdot T_c + A_3)] / 10, \quad (2.7)$$

где P_a – абсолютное давление, МПа

T_c – температура, градусов С.

Значение μ увеличено в 10^6 раз. Коэффициенты $A_0 - A_3$ получены на основе обработки данных [7] и сведены в таблицу 2.2.

Таблица 2.2

Диапазон температуры, градусов С	Коэффициенты аппроксимации			
	A_0	A_1	A_2	A_3
$0 < P_a \leq 1.0 \text{ МПа}$				
-73.15 .. -53.15	-0.009	1.06	0.569	174.6
-53.15 .. -33.15	-0.009	1.06	0.544	173.3
-33.15 .. -13.15	-0.005	1.21	0.525	172.6
-13.15 .. 6.85	-0.009	1.15	0.509	172.4
6.85 .. 16.85	0.000	1.09	0.490	172.6
16.85 .. 26.85	-0.005	1.24	0.489	172.6
26.85 .. 46.85	-0.005	1.12	0.475	173.0
46.85 .. 66.85	-0.005	1.12	0.465	173.4
66.85 .. 86.85	-0.005	1.12	0.450	174.4
86.85 .. 106.85	0.318	-26.91	0.467	172.9
106.85 .. 126.85	-0.323	41.57	0.398	180.3

Продолжение таблицы 2.2

Диапазон температуры, градусов С	Коэффициенты аппроксимации			
	A ₀	A ₁	A ₂	A ₃
1.0 < Pa ≤ 2.0 МПа				
-73.15 .. -53.15	-0.020	1.24	0.580	174.4
-53.15 .. -33.15	-0.015	1.50	0.550	172.8
-33.15 .. -13.15	-0.010	1.67	0.530	172.2
-13.15 .. 6.85	-0.010	1.67	0.510	171.9
6.85 .. 16.85	-0.010	1.67	0.500	172.0
16.85 .. 26.85	-0.010	1.67	0.490	172.1
26.85 .. 46.85	-0.005	1.53	0.475	172.5
46.85 .. 66.85	-0.010	1.77	0.470	172.8
66.85 .. 86.85	-0.005	1.43	0.450	174.1
86.85 .. 106.85	-0.355	31.83	1.140	114.2
106.85 .. 126.85	0.345	-42.96	-0.270	264.8
2.0 < Pa ≤ 3.0 МПа				
-73.15 .. -53.15	-0.030	1.41	0.600	174.1
-53.15 .. -33.15	-0.020	1.94	0.560	172.0
-33.15 .. -13.15	-0.020	1.94	0.550	171.6
-13.15 .. 6.85	-0.015	2.00	0.520	171.2
6.85 .. 16.85	-0.010	1.97	0.500	171.4
16.85 .. 26.85	-0.010	1.97	0.490	171.5
26.85 .. 46.85	-0.010	1.97	0.485	171.7
46.85 .. 66.85	-0.005	1.73	0.460	172.8
66.85 .. 86.85	-0.005	1.73	0.450	173.5
86.85 .. 106.85	-0.005	1.73	0.440	174.4
106.85 .. 126.85	-0.005	1.73	0.430	175.5
3.0 < Pa ≤ 5.0 МПа				
-73.15 .. -53.15	-0.047	1.33	0.652	174.3
-53.15 .. -33.15	-0.033	2.12	0.598	171.4
-33.15 .. -13.15	-0.023	2.45	0.558	170.1
-13.15 .. 6.85	-0.017	2.52	0.527	169.7
6.85 .. 16.85	-0.015	2.50	0.515	169.8
16.85 .. 26.85	-0.015	2.50	0.505	169.9
26.85 .. 46.85	-0.013	2.44	0.493	170.3
46.85 .. 66.85	-0.010	2.32	0.475	171.1
66.85 .. 86.85	-0.007	2.15	0.457	172.3
86.85 .. 106.85	-0.008	2.15	0.448	173.1
106.85 .. 126.85	-0.008	2.15	0.438	174.5
5.0 < Pa ≤ 10.0 МПа				
-73.15 .. -53.15	-0.089	0.67	0.860	177.6
-53.15 .. -33.15	-0.053	2.58	0.700	169.1
-33.15 .. -13.15	-0.037	3.11	0.630	166.8
-13.15 .. 6.85	-0.026	3.26	0.570	166.0
6.85 .. 16.85	-0.022	3.23	0.550	166.1
16.85 .. 26.85	-0.016	3.13	0.510	166.8
26.85 .. 46.85	-0.016	3.13	0.510	166.8
46.85 .. 66.85	-0.013	2.99	0.490	167.7
66.85 .. 86.85	-0.011	2.86	0.475	168.7
86.85 .. 106.85	-0.009	2.68	0.455	170.5
106.85 .. 126.85	-0.007	2.47	0.435	172.6
10.0 < Pa ≤ 15.0 МПа				
-73.15 .. -53.15	-0.127	-0.05	1.240	184.8
-53.15 .. -33.15	-0.073	2.82	0.900	166.7
-33.15 .. -13.15	-0.047	3.58	0.730	161.1
-13.15 .. 6.85	-0.033	3.87	0.640	159.9
6.85 .. 16.85	-0.026	3.82	0.590	160.3
16.85 .. 26.85	-0.024	3.78	0.590	160.3
26.85 .. 46.85	-0.018	3.62	0.530	161.9
46.85 .. 66.85	-0.016	3.53	0.520	162.3
66.85 .. 86.85	-0.012	3.26	0.485	164.7
86.85 .. 106.85	-0.010	3.09	0.465	166.4

Продолжение таблицы 2.2

Диапазон температуры, градусов С	Коэффициенты аппроксимации			
	A ₀	A ₁	A ₂	A ₃
15.0 < Pa ≤ 20.0 МПа				
-73.15 .. -53.15	-0.122	0.84	1.165	171.5
-53.15 .. -33.15	-0.081	3.01	1.020	163.8
-33.15 .. -13.15	-0.053	3.94	0.820	157.2
-13.15 .. 6.85	-0.037	4.15	0.700	155.6
6.85 .. 16.85	-0.028	4.09	0.620	156.2
16.85 .. 26.85	-0.026	4.06	0.620	156.2
26.85 .. 46.85	-0.021	3.92	0.575	157.4
46.85 .. 66.85	-0.015	3.64	0.505	160.6
66.85 .. 86.85	-0.014	3.58	0.515	160.0
86.85 .. 106.85	-0.011	3.32	0.480	163.0
106.85 .. 126.85	-0.009	3.10	0.455	165.7

2.4 Показатель адиабаты

Показатель адиабаты «к» в расчетном диапазоне температур и давлений изменяется в диапазоне от 1.4 до 2.6. Однако учет зависимости $\kappa(T,P)$ для воздуха, достаточно сложный аналитически, очень слабо влияет на точность результатов расчета расхода. Поэтому принято постоянное значение показателя адиабаты воздуха:

$$\kappa = 1.4 \quad (2.8)$$

Вызванная этим дополнительная погрешность не превышает 0.01%.

2.5 Коэффициент расширения

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

$$\varepsilon = 1 - (0.351 + 0.256 \cdot \beta^4 + 0.93 \cdot \beta^8) \cdot [1 - (1 - 0.001 \cdot dP/Pa)^{1/\kappa}] \quad (2.9)$$

3 РАСЧЕТ РАСХОДА

3.1 Объемный расход

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

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

ПЕРЕЧЕНЬ ССЫЛОЧНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Теплоэнергоконтроллер ТЭКОН-17. Алгоритмы расчета Т10.06.52РР.
Редакция 11.00. ЗАО ИВП «КРЕЙТ», г. Екатеринбург, 2000 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 8-79
Воздух жидкий и газообразный.
Плотность, энтальпия, энтропия и изобарная теплоемкость при температурах 70 .. 1500 К и давлениях 0,1 ... 100 МПа.
7. ГСССД 109-87
Воздух сухой.
Коэффициенты динамической вязкости и теплопроводности при температурах 150 ... 1000 К и давлениях от соответствующих разреженному газу до 100 МПа.