

Расчет магистрального газопровода

Практическое занятие 5

Этап 2. Тепловой и гидравлический расчет линейного участка газопровода

Цель расчета – определение давления и температуры газа в конце линейного участка между соседними КС: P_K и T_K . Расчет выполняется методом последовательных приближений.

2.1 В первом приближении принимаются значения λ и Z_{CP} и T_{CP} из предварительных вычислений (в первом этапе).

2.2 В первом приближении рассчитывается конечное давление

$$P_K = \sqrt{P_H^2 - \frac{Q^2 \cdot \Delta \cdot \lambda \cdot Z_{CP} \cdot T_{CP} \cdot \varphi_{КС}}{K^2 \cdot D^5}}.$$

1

2.3 По известным значениям P_H и P_K рассчитывается уточненное среднее давление P_{CP} и приведенное $P_{пр}$.

2.4 Для расчета P_K во втором приближении вычисляется уточненное значение T_{CP} . Для этого используют величины C_P , D_i и коэффициента a_t , вычисленные при найденных значениях P_{CP} и T_{CP} первого приближения :

Теплоемкость,
Дж/(кг·К)

$$C_P = R \cdot (E_0 + E_1 \cdot P_{ПР} + E_2 \cdot P_{ПР}^2 + E_3 \cdot P_{ПР}^3)$$

$$E_0 = 4,437 - 1,015 \cdot T_{ПР} + 0,591 \cdot T_{ПР}^2$$

$$E_1 = 3,29 - \frac{11,37}{T_{ПР}} + \frac{10,9}{T_{ПР}^2}$$

$$E_2 = 3,23 - \frac{16,27}{T_{ПР}} + \frac{25,48}{T_{ПР}^2} - \frac{11,81}{T_{ПР}^3}$$

$$E_3 = -0,214 + \frac{0,908}{T_{ПР}} - \frac{0,967}{T_{ПР}^2}$$

Коэффициент Джоуля-Томсона, К/МПа

$$Di = H_0 + H_1 \cdot P_{ПР} + H_2 \cdot P_{ПР}^2 + H_3 \cdot P_{ПР}^3$$

$$H_0 = 24,96 - 20,3 \cdot T_{ПР} + 4,57 \cdot T_{ПР}^2$$

$$H_1 = 5,66 - \frac{19,92}{T_{ПР}} + \frac{16,89}{T_{ПР}^2}$$

$$H_2 = -4,11 + \frac{14,68}{T_{ПР}} - \frac{13,39}{T_{ПР}^2}$$

$$H_3 = 0,568 - \frac{2,0}{T_{ПР}} + \frac{1,79}{T_{ПР}^2}$$

Параметр a_t , 1/км (D , мм; $K_{СР}$, Вт/(м²·К); c_p , Дж/(кг·К))

$$a_t = 225,5 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{K_{СР} \cdot D}{Q \cdot \Delta \cdot c_p}$$

Средняя температура (2-е приближение)

$$T_{СР} = T_0 + (T_H - T_0) \cdot \frac{1 - e^{-a_t \cdot \Delta_{КС}}}{a_t \cdot \Delta_{КС}} - Di \cdot \frac{P_H^2 - P_K^2}{2 \cdot a_t \cdot \Delta_{КС} \cdot P_{СР}} \cdot \left(1 - \frac{1 - e^{-a_t \cdot \Delta_{КС}}}{a_t \cdot \Delta_{КС}} \right)$$

2.5 Во втором приближении при $P=P_{CP}$ и $T=T_{CP}$ вычисляются:

приведенные давление и температура

$$P_{ПР} = \frac{P}{P_{ПК}} ; \quad T_{ПР} = \frac{T}{T_{ПК}} ;$$

средний коэффициент сжимаемости

$$Z_{CP} = 1 + A_1 \cdot P_{ПР} + A_2 \cdot P_{ПР}^2$$

динамическая вязкость газа, Па·с

$$\mu_{г} = \mu_0 \cdot \left(1 + B_1 \cdot P_{ПР} + B_2 \cdot P_{ПР}^2 + B_3 \cdot P_{ПР}^3 \right)$$

$$\mu_0 = (1,81 + 5,95 \cdot T_{ПР}) \cdot 10^{-6}$$

$$B_1 = -0,67 + \frac{2,36}{T_{ПР}} - \frac{1,93}{T_{ПР}^2}$$

$$B_2 = 0,8 - \frac{2,89}{T_{ПР}} + \frac{2,65}{T_{ПР}^2}$$

$$B_3 = -0,1 + \frac{0,354}{T_{ПР}} - \frac{0,314}{T_{ПР}^2}$$

2.6 Определяются значения :

числа Рейнольдса

$$Re = 17,75 \cdot 10^3 \cdot \frac{\Delta \cdot Q}{D \cdot \mu_{г}} ;$$

коэффициента сопротивления трению

$$\lambda_{ТР} = 0,067 \cdot \left(\frac{158}{Re} + \frac{2 \cdot k_{э}}{D} \right)^{0,2} ;$$

коэффициента гидравлического сопротивления
линейного участка газопровода

$$\lambda = \frac{\lambda_{ТР}}{E^2} .$$

2.7 Во втором приближении по формуле (1) вычисляется давление в конце линейного участка газопровода P_K' .

Проверяется условие $|(P_K' - P_K) / P_K| < 1\%$.

При невыполнении условия – повторить расчет с пункта 2.3, принимая в следующем приближении $P_K = P_K'$ (третье приближение и т. д.) .

2.8 Определяется температура в конце линейного участка

$$T_K = T_0 + (T_H - T_0) \cdot e^{-a_t \cdot \Delta_{КС}} - Di \cdot \frac{P_H^2 - P_K^2}{2 \cdot a_t \cdot \Delta_{КС} \cdot P_{СР}} \cdot (1 - e^{-a_t \cdot \Delta_{КС}}).$$