

9.1.5. NIEIZOTERMICZNY PRZEPŁYW GAZU W GAZOCIĄGACH

Przy założeniu izotermicznego przepływu w gazociągach poziomych otrzymaliśmy wzór (9.4) w postaci

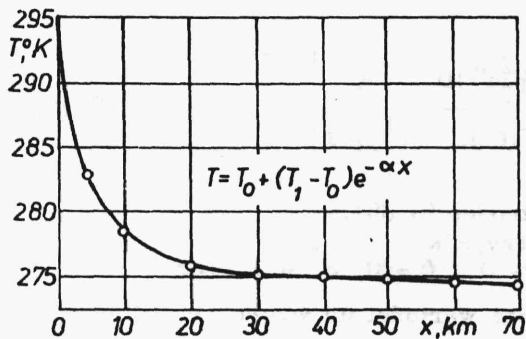
$$Q = \frac{F}{\delta} \left[\frac{\frac{g}{2ZRT} (P_1^2 - P_2^2)}{\frac{\lambda L}{2D} + \ln \frac{P_1}{P_2}} \right]^{0,5}$$

We wzorze, tym $\ln \frac{P_1}{P_2}$ jest wielkością bardzo małą w porównaniu z $\frac{\lambda L}{2D}$.

Pomijając $\ln \frac{P_1}{P_2}$ otrzymamy po przekształceniu tego wzoru następującą zależność dla izotermicznego przepływu gazu

$$P_1^2 - P_2^2 = \left(\frac{\delta Q}{F} \right)^2 \frac{\delta L Z R T}{g D}. \quad (9.40)$$

W rzeczywistości w gazociągach ma miejsce nieizotermiczny przepływ gazu, który należy uwzględnić w obliczeniach gazociągów, zwłaszcza w przypadku dużych zmian



Rys. 9.7

temperatury gazu. Temperatura sprężonego gazu na wlocie jest najwyższa, a następnie maleje w miarę rozprężenia się gazu oraz wymiany ciepła z otaczającym gazociąg gruntem, osiągając na końcowym odcinku gazociągu stałą wartość zbliżoną do temperatury gruntu (rys. 9.7). Krzywą rozkładu temperatury gazu wzdłuż gazociągu można podzielić na dwa odcinki: pierwszy - w którym zachodzi nieizotermiczny przepływ gazu i drugi - izotermiczny.

Różnica temperatury między przepływającym z dużą prędkością gazem a ścianką gazociągu jest bardzo mała, w związku z czym można pominąć wpływ ścianki na przenikanie ciepła do gruntu.

Przyjmujemy w podanych niżej wzorach następujące oznaczenia:

- T - bezwzględna temperatura gazu w zależności od odległości x,
- T₁ - bezwzględna temperatura gazu w przekroju początkowym gazociągu,

T_o - bezwzględna temperatura gruntu,

k - współczynnik przenikania ciepła,

c_p - ciepło właściwe gazu.

Zmianę temperatury gazu oblicza się z bilansu ciepła

$$c_p \gamma Q dx = -k \pi D (T - T_o) dx;$$

stąd

$$\frac{dT}{T - T_o} = -\frac{k \pi D}{c_p \gamma Q} dx.$$

Po scałkowaniu lewej strony równania od T_1 do T oraz prawej odpowiednio od 0 do x , otrzymamy

$$\ln \frac{T - T_o}{T_1 - T_o} = -\frac{k \pi D}{c_p \gamma Q} x.$$

Z równania tego otrzymamy wzór na zmianę temperatury wzdłuż gazociągu

$$T = T_o + (T_1 - T_o) e^{-\alpha x}, \quad (9.41)$$

gdzie: $\alpha = \frac{k \pi D}{c_p \gamma Q}.$

W przypadku nieizotermicznego przepływu temperatura gazu T jest wg wzoru (9.41) wykładniczą funkcją odległości x od przekroju początkowego gazociągu.

Obliczenie nieizotermicznego przepływu sprowadza się do rozwiązania następującego układu równań:
równanie Bernoulliego

$$\frac{dp}{\rho} + v dv + g dh_{sl} = 0,$$

równanie Darcy - Weisbacha

$$dh_{sl} = \lambda \frac{v^2}{2g D} dx,$$

równanie ciągłości dla przepływu ustalonego

$$\rho v = \frac{v}{w} = \frac{\rho Q}{F} = Q_M,$$

równanie stanu gazu rzeczywistego

$$p w = Z R T.$$

W równaniach powyższych przyjęto następujące oznaczenia:

$$w = \frac{1}{\rho},$$

v - średnia prędkość w przekroju przewodu,

Q_n - wydatek masowy gazu na jednostkę pola przekroju,

Q - wydatek objętościowy,

Z - współczynnik ściśliwości gazu.

Z równania ciągłości znajdziemy:

$$v = Q_M w; \quad dv = Q_M dw,$$

z uwzględnieniem równania Darcy - Weisbacha, otrzymamy

$$w dp + Q_M^2 w dw + \frac{\lambda Q_M^2 w^2 dx}{2D} = 0.$$

Mnożąc obie strony przez p/w i uwzględniając równanie stanu gazu, otrzymamy

$$p dp + Q_M^2 Z R T \frac{dw}{w} + \frac{\lambda Q_M^2 Z R T}{2D} dx = 0. \quad (9.42)$$

Przy założeniu niedużych zmian ciśnienia w porównaniu ze zmianami temperatury gazu w gazociągu, możemy przyjąć

$$\frac{dw}{w} \approx \frac{dT}{T}.$$

Podstawiając powyższe do równania (9.42) otrzymamy

$$p dp + Q_M^2 Z R dT = - \frac{\lambda Q_M^2 Z R T}{2D} dx.$$

Uwzględniając dla nieizotermicznego przepływu zależność (9.41), napiszemy

$$p \, dp + Q_M^2 Z R \, dT = - \frac{\lambda Q_M^2 Z R}{2D} \left[T_o + (T_1 - T_o) e^{-\alpha x} \right] dx.$$

Po scałkowaniu p w granicach od p_1 do p_2 , T od T_1 do T_2 i x od 0 do L otrzymamy

$$\begin{aligned} p_2^2 - p_1^2 + 2Q_M^2 Z R (T_2 - T_1) = \\ = - \frac{\lambda Q_M^2 Z R}{D} \left(T_o L + \frac{T_1 - T_o}{\alpha} - \frac{T_1 - T_o}{\alpha} e^{-\alpha L} \right), \end{aligned}$$

stąd po podstawieniu $Q_M = \frac{q Q}{F}$ otrzymamy wzór na obliczenie nieizotermicznego przepływu w gazociągach

$$\begin{aligned} p_1^2 - p_2^2 = \\ = \left(\frac{q Q}{F} \right)^2 \frac{Z R}{g} \left[\frac{\lambda}{D} \left(T_o L + \frac{T_1 - T_o}{\alpha} - \frac{T_1 - T_o}{\alpha} e^{-\alpha L} \right) - 2(T_1 - T_2) \right], \end{aligned} \quad (9.43)$$

$$\text{gdzie: } \alpha = \frac{k \pi D}{c_p q Q},$$

p_1, p_2 - ciśnienia w przekroju początkowym i końcowym,

T_1, T_2 - bezwzględne temperatury gazu w przekroju początkowym i końcowym gazociągu,

T_o - bezwzględna temperatura gruntu.

Łatwo zauważyć, że wzór (9.43) dla nieizotermicznego przepływu gazu sprowadza się po przyjęciu stałej temperatury $T = T_1 = T_2 = T_o = \text{const}$ do wzoru (9.40) dla izotermicznego przepływu w gazociągach poziomych.