



# НАФТОГАЗОВА ІНЖЕНЕРІЯ ТА ТЕХНОЛОГІЇ

ТЕМА ЗАНЯТТЯ:

## **ОСНОВИ ТЕХНОЛОГІЧНИХ РОЗРАХУНКІВ МАГІСТРАЛЬНИХ ГАЗОПРОВОДІВ**

ПЛАН ЗАНЯТТЯ:

1. Розрахунок фізичних та термодинамічних властивостей природного газу
2. Гідравлічний розрахунок магістральних газопроводів
3. Тепловий розрахунок магістральних газопроводів

---

**ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 2**

**ОСНОВИ ТЕХНОЛОГІЧНИХ РОЗРАХУНКІВ  
МАГІСТРАЛЬНИХ ГАЗОПРОВОДІВ**

# ФІЗИЧНІ І ТЕРМОДИНАМІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ПРИРОДНОГО ГАЗУ

**Густина** визначається як маса одиниці об'єму газу і в системі SI має розмірність  $\text{кг}/\text{м}^3$ .

Для заданих умов (температури і тиску) густину визначають із рівняння стану для реальних газів

$$\rho = \frac{P}{zRT},$$

де  $P$  - абсолютний тиск, Па;

$R$  - газова постійна, Дж/кгК;

$T$  - абсолютна температура, К;

$Z$  - коефіцієнт стисливості, що характеризує відхилення властивостей реального газу від ідеального, безрозмірний.

На практиці користуються густиною газу **за нормальних фізичних (101325 Па, 273,15 К), стандартних (101325 Па, 293,15 К) і робочих умов.**

У перших двох випадках  $z=1$ , і відповідна густина визначається з рівняння стану для ідеальних газів.

# ФІЗИЧНІ І ТЕРМОДИНАМІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ПРИРОДНОГО ГАЗУ

**Густина** визначається як маса одиниці об'єму газу і в системі SI має розмірність  $\text{кг}/\text{м}^3$ .

Для заданих умов (температури і тиску) густину визначають із рівняння стану для реальних газів

$$\rho = \frac{P}{zRT},$$

де  $P$  - абсолютний тиск, Па;

$R$  - газова постійна, Дж/кгК;

$T$  - абсолютна температура, К;

$Z$  - коефіцієнт стисливості, що характеризує відхилення властивостей реального газу від ідеального, безрозмірний.

На практиці користуються густиною газу за нормальних фізичних (101325 Па, 273,15 К), стандартних (101325 Па, 293,15 К) і робочих умов.

У перших двох випадках  $z=1$ , і відповідна густина визначається з рівняння стану для ідеальних газів.

# ФІЗИЧНІ І ТЕРМОДИНАМІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ПРИРОДНОГО ГАЗУ

**Густина** визначається як маса одиниці об'єму газу і в системі SI має розмірність  $\text{кг}/\text{м}^3$ .

Для заданих умов (температури і тиску) густину визначають із рівняння стану для реальних газів

$$\rho = \frac{P}{zRT},$$

де  $P$  - абсолютний тиск, Па;

$R$  - газова постійна, Дж/кгК;

$T$  - абсолютна температура, К;

$Z$  - коефіцієнт стисливості, що характеризує відхилення властивостей реального газу від ідеального, безрозмірний.

На практиці користуються густиною газу *за нормальних фізичних (101325 Па, 273,15 К), стандартних (101325 Па, 293,15 К) і робочих умов.*

У перших двох випадках  $z=1$ , і відповідна густина визначається з рівняння стану для ідеальних газів.

# ВИХІДНІ ДАНІ ДО ПРАКТИЧНОЇ РОБОТИ №3

Визначити пропускну здатність магістрального газопроводу  $Q$  (млн.м<sup>3</sup>/д) за таких умов: зовнішній діаметр та товщина стінки газопроводу  $D_3 \times \delta = 1420 \times 21$  мм, довжина газопроводу  $L = 122,5$  км, початковий надлишковий тиск  $p_n^H = 7,35$  МПа, кінцевий надлишковий тиск  $p_k^H = 5,32$  МПа, відносна густина газу  $\Delta = 0,619$ , початкова температура  $t_n = 44,7$  °С, температура ґрунту  $t_{gp} = 11$  °С, повний коефіцієнт теплопередачі  $k = 1,23$  Вт/(м<sup>2</sup>·К), питома масова теплоємність природного газу  $C_p = 2700$  Дж/(кг·К), коефіцієнт гідравлічної ефективності  $E = 0,932$ , атмосферний тиск  $h_{атм} = 749$  мм рт. ст. Визначити швидкість руху газу за робочих умов на віддалі  $x = 79,7$  км від початку газопроводу. Побудувати графіки розподілу тиску, температури та швидкості газу вздовж газопроводу (крок розрахунку кожні 20 км).

ПРОПУСКНА ЗДАТНІСТЬ ГАЗОПРОВОДІВ ЗА СТАНДАРТНИХ УМОВ  
(P=101325 ПА, T=293 К) (ОНТП 51-1-85. ЧАСТЬ І. ГАЗОПРОВОДИ)  
ОСНОВНЕ РІВНЯННЯ ГАЗОПРОВОДІВ

$$q = 105,087 \cdot d^{2,5} \cdot E \cdot \sqrt{\frac{P_n^2 - P_k^2}{\Delta \cdot \lambda \cdot z_{cp} \cdot T_{cp} \cdot L}}$$

де  $q$  – продуктивність газопроводу, **млн. м<sup>3</sup>/д**;

$E$  – коефіцієнт гідравлічної ефективності, **безрозмірна величина**;

$d$  – внутрішній діаметр газопроводу, **м**;

$P_n, P_k$  – абсолютні тиску газу на початку і в кінці газопроводу, **МПа**;

$\Delta$  – відносна густина газу за повітрям, **безрозмірна величина**;

$\lambda$  – коефіцієнт гідравлічного опору ділянки газопроводу, **безрозмірна величина**;

$z_{cp}$  – середній по довжині трубопроводу коефіцієнт стисливості газу, **безрозмірна величина**;

$T_{cp}$  – середня по довжині ділянки трубопроводу температура газу, **К**;

$L$  – довжина газопроводу, **км**.

# ПОСЛІДОВНІСТЬ РОЗРАХУНКУ ПРОПУСКНОЇ ЗДАТНОСТІ ГАЗОПРОВОДУ

Визначаємо внутрішній діаметр газопроводу

$$d = D_z - 2 \cdot \delta = 1420 - 2 \cdot 21 = 1378 \text{ мм.}$$

Переводимо величину атмосферного тиску у МПа

$$P_{\text{атм}} = \rho \cdot g \cdot h_{\text{атм}} = 13600 \cdot 9,81 \cdot \frac{749}{1000} \cdot 10^{-6} = 0,100 \text{ МПа.}$$

Визначаємо абсолютні значення тиску та температури

$$P_n = P_n^H + P_{\text{атм}} = 7,35 + 0,100 = 7,450 \text{ МПа.}$$

$$P_k = P_k^H + P_{\text{атм}} = 5,32 + 0,100 = 5,420 \text{ МПа.}$$

$$T_n = t_n + 273 = 44,7 + 273 = 317,7 \text{ К}$$

$$T_{\text{гр}} = t_{\text{гр}} + 273 = 11 + 273 = 284 \text{ К}$$



# ПОСЛІДОВНІСТЬ РОЗРАХУНКУ ПРОПУСКНОЇ ЗДАТНОСТІ ГАЗОПРОВОДУ

Визначаємо пропускну здатність газопроводу в першому наближенні. Приймаємо в першому наближенні рекомендовані значення коефіцієнту гідравлічного опору, середньої температури газу та середнього коефіцієнта стисливості відповідно до діаметру газопроводу:

$$\lambda = 0,0090, z_{cp} = 0,9, T_{cp} = 310 \text{ K.}$$

$$q = 105,087 \cdot d^{2,5} \cdot E \cdot \sqrt{\frac{P_n^2 - P_k^2}{\Delta \cdot \lambda \cdot z_{cp} \cdot T_{cp} \cdot L}} = 105,087 \cdot 1,378^{2,5} \cdot 0,932 \cdot \sqrt{\frac{7,450^2 - 5,420^2}{0,619 \cdot 0,0090 \cdot 0,9 \cdot 310 \cdot 122,5}}$$
$$= 80,87 \text{ млн. м}^3/\text{д.}$$

Визначаємо число Рейнольдса за формулою

$$Re = 17,76 \cdot \frac{Q \cdot \Delta}{d \cdot \eta} = 17,76 \cdot \frac{80,87 \cdot 0,619}{1,378 \cdot 0,0000125} = 51583755.$$

# ПОСЛІДОВНІСТЬ РОЗРАХУНКУ ПРОПУСКНОЇ ЗДАТНОСТІ ГАЗОПРОВОДУ

**Густина** визначається як маса одиниці об'єму газу і в системі SI має розмірність  $\text{кг/м}^3$ .

Для заданих умов (температури і тиску) густину визначають із рівняння стану для реальних газів

$$\rho = \frac{P}{zRT},$$

де  $P$  - абсолютний тиск, Па;

$R$  - газова постійна, Дж/кгК;

$T$  - абсолютна температура, К;

$Z$  - коефіцієнт стисливості, що характеризує відхилення властивостей реального газу від ідеального, безрозмірний.

На практиці користуються густиною газу за **нормальних фізичних** (101325 Па, 273,15 К), **стандартних** (101325 Па, 293,15 К) і **робочих умов**.

У перших двох випадках  $z=1$ , і відповідна густина визначається з рівняння стану для ідеальних газів.

$k$  – абсолютна еквівалентна шорсткість, приймається рівною 0,03 мм

# ПОСЛІДОВНІСТЬ РОЗРАХУНКУ ПРОПУСКНОЇ ЗДАТНОСТІ ГАЗОПРОВОДУ

Визначаємо коефіцієнт гідравлічного опору газопроводу

$$\lambda = 0,067 \cdot \left( \frac{158}{Re} + \frac{2 \cdot k}{D} \right)^{0,2} = 0,067 \cdot \left( \frac{158}{51583755} + \frac{2 \cdot 0,03}{1378} \right)^{0,2} = 0,009115.$$

Визначаємо середній тиск газу в газопроводі

$$P_{\text{ср}} = \frac{2}{3} \cdot \left( P_{\text{п}} + \frac{P_{\text{к}}^2}{P_{\text{п}} + P_{\text{к}}} \right) = \frac{2}{3} \cdot \left( 7,450 + \frac{5,420^2}{7,450 + 5,420} \right) = 6,488 \text{ МПа}$$

Визначаємо параметр Шухова  $a$

$$a = 0,225 \cdot \frac{k \cdot D_{\text{зовн}}}{Q \cdot \Delta \cdot C_p} = 0,225 \cdot \frac{1,23 \cdot 1420}{80,87 \cdot 0,619 \cdot 2700} = 2,908 \cdot 10^{-3} \text{ км}^{-1}$$

Визначаємо кінцеву температуру газу

$$T_{\text{кін}} = T_{\text{гр}} + (T_{\text{поч}} - T_{\text{гр}}) \cdot e^{-a \cdot l} = 284 + (317,7 - 284) \cdot e^{-2,908 \cdot 10^{-3} \cdot 122,5} = 307,6 \text{ К.}$$

# ПОСЛІДОВНІСТЬ РОЗРАХУНКУ ПРОПУСКНОЇ ЗДАТНОСТІ ГАЗОПРОВОДУ

Визначаємо середню температуру газу

$$T_{\text{ср}} = T_{\text{гр}} + \frac{T_{\text{п}} - T_{\text{кін}}}{a \cdot l} = 284 + \frac{317,7 - 307,6}{2,908 \cdot 10^{-3} \cdot 122,5} = 312,4 \text{ K.}$$

Визначаємо середній коефіцієнт стисливості

$$z_{\text{ср}} = 1 - 5,5 \cdot 10^6 \cdot \frac{P_{\text{ср}} \cdot \Delta^{1,3}}{T_{\text{ср}}^{3,3}} = 1 - 5,5 \cdot 10^6 \cdot \frac{6,488 \cdot 0,619^{1,3}}{312,4^{3,3}} = 0,8880.$$

Визначаємо пропускну здатність в другому наближенні

$$q = 105,087 \cdot 1,378^{2,5} \cdot 0,932 \cdot \sqrt{\frac{7,450^2 - 5,420^2}{0,619 \cdot 0,009115 \cdot 0,8880 \cdot 312,4 \cdot 122,5}} = 80,59 \text{ млн. м}^3 / \text{д.}$$

Визначаємо масову витрату газу в газопроводі

$$M = 13,95 \cdot q \cdot \Delta = 13,95 \cdot 80,59 \cdot 0,619 = 695,78 \text{ кг/с.}$$

# ПОСЛІДОВНІСТЬ РОЗРАХУНКУ РОЗПОДІЛУ ТИСКУ, ТЕМПЕРАТУРИ І ШВИДКОСТІ ГАЗУ ПО ДОВЖИНІ ТРУБОПРОВОДУ

Визначаємо тиск на віддалі  $x$  км від початку газопроводу в першому наближенні за формулою

$$P_x = \sqrt{P_{\text{поч}}^2 - (P_{\text{поч}}^2 - P_{\text{кін}}^2) \cdot \frac{x}{L}} = \sqrt{7,450^2 - (7,450^2 - 5,420^2) \cdot \frac{79,7}{122,5}} = 6,205 \text{ МПа.}$$

Визначаємо параметр Шухова

$$a = 0,225 \cdot \frac{k \cdot D_{\text{зовн}}}{Q \cdot \Delta \cdot C_p} = 0,225 \cdot \frac{1,23 \cdot 1420}{80,59 \cdot 0,619 \cdot 2700} = 2,918 \cdot 10^{-3} \text{ км}^{-1}$$

Визначаємо температуру газу на віддалі  $x$  км від початку газопроводу

$$T_{\text{кін}x} = T_{\text{гр}} + (T_{\text{поч}} - T_{\text{гр}}) \cdot e^{-a \cdot x} = 284 + (317,7 - 284) \cdot e^{-2,918 \cdot 10^{-3} \cdot 79,7} = 310,7 \text{ К.}$$

Визначаємо середню температуру газу на віддалі  $x$  км від початку газопроводу

$$T_{\text{ср}x} = T_{\text{гр}} + \frac{T_{\text{п}} - T_{\text{кін}x}}{a \cdot x} = 284 + \frac{317,7 - 310,7}{2,918 \cdot 10^{-3} \cdot 79,7} = 314,1 \text{ К.}$$

# ПОСЛІДОВНІСТЬ РОЗРАХУНКУ РОЗПОДІЛУ ТИСКУ, ТЕМПЕРАТУРИ І ШВИДКОСТІ ГАЗУ ПО ДОВЖИНІ ТРУБОПРОВОДУ

Визначаємо середній тиск на віддалі  $x$  км від початку газопроводу за формулою

$$P_{\text{срх}} = \frac{2}{3} \cdot \left( P_{\text{п}} + \frac{P_x^2}{P_{\text{п}} + P_x} \right) = \frac{2}{3} \cdot \left( 7,450 + \frac{6,205^2}{7,450 + 6,205} \right) = 6,846 \text{ МПа}$$

Визначаємо середній коефіцієнт стисливості для умов на віддалі  $x$  км від початку газопроводу

$$z_{\text{срх}} = 1 - 5,5 \cdot 10^6 \cdot \frac{P_{\text{срх}} \cdot \Delta^{1,3}}{T_{\text{срх}}^{3,3}} = 1 - 5,5 \cdot 10^6 \cdot \frac{6,846 \cdot 0,619^{1,3}}{314,1^{3,3}} = 0,8839.$$

Визначаємо тиск на віддалі  $x$  км від початку газопроводу

$$P_x = \sqrt{P_{\text{поч}}^2 - \frac{q^2 \cdot \lambda \cdot z_{\text{срх}} \cdot \Delta \cdot T_{\text{срх}} \cdot x}{105,087^2 \cdot d^5 \cdot E^2}}$$
$$= \sqrt{7,450^2 - \frac{80,59^2 \cdot 0,009115 \cdot 0,8839 \cdot 0,619 \cdot 314,1 \cdot 79,7}{105,087^2 \cdot 1,378^5 \cdot 0,932^2}} = 6,204 \text{ МПа}$$

# ПОСЛІДОВНІСТЬ РОЗРАХУНКУ РОЗПОДІЛУ ТИСКУ, ТЕМПЕРАТУРИ І ШВИДКОСТІ ГАЗУ ПО ДОВЖИНІ ТРУБОПРОВОДУ

Визначаємо коефіцієнт стисливості для умов на віддалі  $x$  км від початку газопроводу

$$z_x = 1 - 5,5 \cdot 10^6 \cdot \frac{P_x \cdot \Delta^{1,3}}{T_x^{3,3}} = 1 - 5,5 \cdot 10^6 \cdot \frac{6,204 \cdot 0,619^{1,3}}{310,7^{3,3}} = 0,8910.$$

Газова стала

$$R = \frac{287,1}{\Delta} = \frac{287,1}{0,619} = 463,81 \frac{\text{Дж}}{\text{Кг} \cdot \text{К}}$$

Визначаємо густину газу на віддалі  $x$  км від початку газопроводу

$$\rho_x = \frac{P_x \cdot 10^6}{z_x \cdot R \cdot T_x} = \frac{6,204 \cdot 10^6}{0,8910 \cdot 463,81 \cdot 310,7} = 48,32 \text{ кг/м}^3.$$

# ПОСЛІДОВНІСТЬ РОЗРАХУНКУ РОЗПОДІЛУ ТИСКУ, ТЕМПЕРАТУРИ І ШВИДКОСТІ ГАЗУ ПО ДОВЖИНІ ТРУБОПРОВОДУ

Площа поперечного перерізу газопроводу

$$S = \frac{\pi \cdot d^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 1,378^2}{4} = 1,10 \text{ м}^2.$$

Визначаємо швидкість руху газу (в м/с) на віддалі  $x$  км

$$w_x = \frac{M}{\rho_x \cdot S} = \frac{695,78}{48,32 \cdot 1,583} = 9,661 \text{ м/с.}$$

Для побудови графіків розподілу тиску, температури і швидкості по довжині газопроводу знайдемо швидкість газу на початку газопроводу, а далі з кроком 20 км визначимо вказані параметри.



# ПОСЛІДОВНІСТЬ РОЗРАХУНКУ РОЗПОДІЛУ ТИСКУ, ТЕМПЕРАТУРИ І ШВИДКОСТІ ГАЗУ ПО ДОВЖИНІ ТРУБОПРОВОДУ

Визначаємо коефіцієнт стисливості на початку газопроводу

$$z_n = 1 - 5,5 \cdot 10^6 \cdot \frac{P_n \cdot \Delta^{1,3}}{T_n^{3,3}} = 1 - 5,5 \cdot 10^6 \cdot \frac{7,450 \cdot 0,619^{1,3}}{317,7^{3,3}} = 0,8784.$$

Визначаємо густину газу на початку газопроводу

$$\rho_n = \frac{P_n \cdot 10^6}{z_n \cdot R \cdot T_n} = \frac{7,450 \cdot 10^6}{0,8784 \cdot 463,81 \cdot 317,7} = 57,56 \text{ кг/м}^3.$$

Визначаємо швидкість на  початку газопроводу

$$w_n = \frac{M}{\rho_n \cdot S} = \frac{695,78}{57,56 \cdot 1,583} = 8,109 \text{ м/с.}$$