# НАФТОГАЗОВА ІНЖЕНЕРІЯ ТА ТЕХНОЛОГІЇ

# ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ 4

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 ***кг/м³***.

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 ***кг/м³***.

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 ***кг/м³***.

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$^3$/д) за таких умов: зовнішній діаметр та товщина стінки газопроводу $D_з \times \delta$ = 1420×21 мм, довжина газопроводу $L$ = 122,5 км, початковий надлишковий тиск $p_п^н$ = 7,35 МПа, кінцевий надлишковий тиск $p_к^н$ = 5,32 МПа, відносна густина газу $\Delta$ = 0,619, початкова температура $t_п$ = 44,7 °С, температура ґрунту $t_{гр}$ = 11 °С, повний коефіцієнт теплопередачі $k$ = 1,23 Вт/(м$^2$·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 (Р=101325 ПА, Т=293 К) (ОНТП 51-1-85. ЧАСТЬ І. ГАЗОПРОВОДЫ) 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. м³/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***;
***Δ*** **–** відносна густина газу за повітрям, ***безрозмірна величина;***
***λ*** **–** 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

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

Переводимо величину атмосферного тиску у МПа

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

Визначаємо абсолютні значення тиску та температури

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

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

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

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

# 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:

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

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

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 ***кг/м³***.

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

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

Визначаємо параметр Шухова а

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

Визначаємо кінцеву температуру газу

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

# ПОСЛІДОВНІСТЬ РОЗРАХУНКУ ПРОПУСКНОЇ ЗДАТНОСТІ ГАЗОПРОВОДУ

Визначаємо середню температуру газу

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

Визначаємо середній коефіцієнт стисливості

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

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

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

Визначаємо параметр Шухова

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

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

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

Визначаємо середню температуру газу на віддалі x км від початку газопроводу

$$T_{срx} = T_{гр} + \frac{T_п - T_{кінx}}{a \cdot x} = 284 + \frac{317{,}7 - 310{,}7}{2{,}918 \cdot 10^{-3} \cdot 79{,}7} = 314{,}1\ K.$$

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

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

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

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

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

Визначаємо тиск на віддалі x км від початку газопроводу

$$P_x = \sqrt{P_{поч}^2 - \frac{q^2 \cdot \lambda \cdot z_{срx} \cdot \Delta \cdot T_{срx} \cdot x}{105{,}087^2 \cdot d^5 \cdot E^2}}$$

$$= \sqrt{7{,}450^2 - \frac{80{,}59^2 \cdot 0{,}009115 \cdot 0{,}8839 \cdot 0{,}619 \cdot 314{,}1 \cdot 79{,}7}{105{,}087^2 \cdot 1{,}378^5 \cdot 0{,}932^2}} = 6{,}204 \text{ МПа}$$

# 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

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