

РОЗДІЛ 4 ВЛАСТИВОСТІ ТА ОСНОВНІ ЗАКОНИ РУХУ ГАЗІВ

1. ВЛАСТИВОСТІ ГАЗІВ

На відміну від рідин гази характеризуються значною стисливістю та високими значеннями коефіцієнта температурного розширення.

Зв'язок між питомим об'ємом газу V , тиском p і абсолютною температурою T виражається рівнянням

$$p V = R T, \quad (1.33)$$

де R - газова стала, що визначається як робота розширення **1 кг** газу при нагріванні його на **1 градус, Дж/(кг·град)**.

Значення R різне для різних газів. Для повітря, азоту та аргону, що використовуються в гідравлічних та пневматичних системах приводів, газова постійна R у **Дж/(кг·град)** відповідно становить: **287; 297; 208**.

Щільність газів залежить від тиску та температури і може бути приблизно встановлена за допомогою рівняння Клайперону для ідеального газу

$$\rho = p / (R T) \quad (1.34)$$

Значення щільності в **кг/м³** при **t = 0⁰C** и **p = 0,1 МПа** для тих же газів (повітря, азоту та аргону) відповідно становить: **1,293; 1,251; 1,782**.

В'язкість газів збільшується із підвищенням температури. Ця залежність досить точно виражається формулою Сатерленда:

$$\mu = \mu_0 \left(\frac{T_0 + C}{T + C} \right) \left(\frac{T}{T_0} \right)^{3/2}, \quad (1.35)$$

де μ_0 и μ - абсолютна динамічна в'язкість при вихідній температурі T_0 та температурі T ;

C - постійний для цього газу коефіцієнт (для повітря **C = 130,5**).

Для більшості газів μ практично не залежить від тиску в межах від 0 до 0,5 МПа, а при подальшому підвищенні тиску викликає суттєву зміну μ .

Значення кінематичної в'язкості для повітря, азоту та аргону наведено у *таблиці 1.4*.

Таблица 1.4. Кинематическая вязкость $\nu \cdot 10^6$, м²/с при **p=0,1 МПа**

Газ	Температура, ⁰ C								
	-20	0	20	40	60	80	100	150	200
Повітря	11,7	13,2	15,0	17,0	18,8	20,9	23,0	30,0	34,9
Азот	11,7	13,3	15,0	16,8	18,8	20,6	22,3	28,3	34,1
Аргон	-	11,9	13,3	-	-	-	20,7	-	31,2

Тиск газу при постійній температурі пропорційно тиску молекул газу, що перебуває в даному обсязі, тобто масі газу. Відповідно до закону Бойля-Маріотта при постійній температурі добуток тиску газу, що розміщується в замкнутому просторі, на його об'єм є постійною величиною, тобто

$$p V = \text{const}$$

Звідки випливає рівняння

$$p_1 / p_2 = V_2 / V_1 , \quad (1.36)$$

де p_1, p_2 - відповідно початковий та кінцевий тиск;
 V_1, V_2 - відповідно початковий та кінцевий обсяг.

2. ОСНОВНІ ЗАКони РУХУ ГАЗІВ

Гази підпорядковуються переважно таким залежностям, як і рідини. Принцип дії газових систем ґрунтується на тих же законах, що й гідравлічні. У той самий час розрахунки газових систем мають особливості.

Через високу стисливість рух газу не підпорядковується законам течії рідин, що встановилися, згідно з якими швидкість рідини в кожній точці магістралі визначається її координатами і не залежить від часу.

При заповненні стисненим газом, що знаходиться під постійним тиском будь-якої ємності, газ у початковий момент, коли тиск там мінімальний, буде проходити з максимальною швидкістю, яка в міру вирівнювання тиску в магістралі, що підводить, і заповнюваної ємності буде знижуватися, досягаючи при повному вирівнюванні нульового значення .

Практичні розрахунки виконують на основі умови, що при процесі масова витрата газу M , що проходить в одиницю часу через будь-який поперечний переріз магістралі площею f , залишається, внаслідок нерозривності потоку, постійним:

$$M = \rho v f = \frac{v f}{V} = \text{const} , \quad \text{кг/с}, \quad (1.37)$$

де v і ρ - середня швидкість та щільність газу;

$V=1/\rho$ - питомий об'єм газу, $\text{м}^3/\text{кг}$.

Масова витрата повітря, що проходить через отвір, що дроселює (воно ж - місцевий опір), можна приблизно обчислити за допомогою спрощеного виразу

$$M = \mu f \sqrt{\frac{2\rho_1}{RT_1} (p_1 - p_2)} , \quad (1.38)$$

де p_1 і p_2 - тиск газу на вході в отвір та на виході з нього, Н/м^2 ;
 R - газова постійна реального газу, $\text{Н}\cdot\text{м}/(\text{кг}\cdot\text{град})$;
 T_1 - температура газу на вході в отвір, $^\circ\text{К}$ ($T_1=[t^\circ\text{C} + 273,16^\circ]$);
 f - площа прохідного перерізу отвору, м^2 ;
 $\mu = \varepsilon \cdot \varphi$ - коефіцієнт витрати;
 $\varepsilon = f_n/f$ - коефіцієнт стиснення струменя;
 φ - коефіцієнт опору отвору;
 f_n - площа потоку в стислому перерізі.

Коефіцієнт витрати μ для поширених місцевих опорів можна приймати: для раптового звуження трубопроводу $\mu = 0,8$; для раптового розширення $\mu = 0,7$; для повороту труби під кутом 90° ($R/d \geq 3$) $\mu = 0,94 - 0,95$. Масу газу, яку необхідно подати в ємність об'ємом V_0 , для того, щоб підвищити тиск від p_0 до p_k , можна визначити за допомогою виразу

$$\Delta M = \frac{(p_k - p_0)V_0}{RT}. \quad (1.39)$$

Час наповнення силового циліндра до початку руху поршня при ізотермному процесі буде

$$t = \frac{V_0(p_k - p_n)}{RT\mu}, \quad (1.40)$$

де V_0 - заповнюваний об'єм циліндра;
 p_n, p_k - початковий тиск у циліндрі до заповнення (зазвичай дорівнює атмосферному) та тиск на початку переміщення його поршня.

Час t , протягом якого поршень циліндра почне рухатися можна розрахувати також за емпіричною формулою

$$t = \frac{D^2 l}{d^2 v^2}, \text{ с}, \quad (1.41)$$

де D та l - діаметр та хід поршня циліндра, см ;
 d - внутрішній діаметр газопроводу, см ;
 v - швидкість течії газу у магістралі ($v = (1,5 \dots) \cdot 10^3 \text{ м/с}$).

При розрахунку втрат тиску в трубопроводах температуру газу приймають постійною, тобто допускають, що процес розширення газу в трубопроводі відбувається за ізотермним циклом. При цьому допущенні зберігатиметься за довжиною трубопроводу також і величина в'язкості газу, а отже, і число Рейнольдса

$$Re = \frac{4M}{\rho v \pi d}, \quad (1.42)$$

де d - діаметр трубопроводу, м .
 Втрати напору можна визначити за формулою:

$$\Delta p = \lambda \frac{L}{d} \frac{v_{\text{ср}}^2}{2} \rho, \text{ Н/м}^2 \quad (1.43)$$

где L - довжина трубопроводу, м;

$$v_{\text{ср}} = \frac{M}{f \rho_{\text{ср}}} - \text{середня швидкість газу, м/с};$$

$$\rho_{\text{ср}} = \frac{p_{\text{ср}}}{R T} - \text{середня щільність газу, кг/м}^3;$$

$p_{\text{ср}}$ - середня величина тиску газу в трубопроводі, Н/м²;

$\lambda = 0,3164 Re^{-0,25}$ - коефіцієнт опору.

Втрати напору при перетіканні газу через місцеві опори визначають за формулою:

$$\Delta p = \xi \frac{v^2 \gamma}{2g}, \text{ Па,} \quad (1.44)$$

де ξ - дослідний коефіцієнт місцевого опору;

v (м/с) і γ (Н/м³) - скорость перетікання газу и его объемный вес.