

Тема 2.9 Методи гідравлічних розрахунків мереж

1. Методика гідравлічного розрахунку газопроводів середнього і високого тиску.
2. Методика гідравлічного розрахунку газопроводів низького тиску.
3. **Методика гідравлічного розрахунку поліетиленових газопроводів.(самосійно)**

1. Методика гідравлічного розрахунку газопроводів середнього і високого тиску.

В розрахунку газопроводів необхідно враховувати зміну густини газу під час його руху, яка пов'язана із зменшенням тиску по довжині внаслідок втрат на тертя. Тільки газопроводи низького тиску розраховують, вважаючи що ними рухається нестислива рідина.

Рух газу в газопроводах нестационарний, що зумовлено перемінним режимом роботи газових родовищ і компресорних станцій та нерівномірним споживанням газу. Тому тиск в газопроводі з часом змінюється, а, відповідно, і кількість газу, яка в ньому знаходиться. Проте, під час проектування газопроводів, діаметри розраховують на постійну витрату протягом певного відрізка часу (години, доби).

Для більшості задач розрахунку газопроводів рух газу можна вважати ізотермічним — температуру газу приймають рівною температурі ґрунту.

Основні параметрами, що визначають рух газу - це абсолютний тиск, P ; густина, ρ , швидкість, w . Усі три параметри невідомі, тому система, що описує рух газу, має складатися з трьох рівнянь. Основним є рівняння Дарсі (2.9.1):

$$dP = -\lambda \cdot \frac{dx}{d} \cdot \rho \cdot \frac{w^2}{2},$$

де λ - коефіцієнт тертя; d - внутрішній діаметр.

Для врахування зміни густини використовують рівняння стану газу(2.9.2):

$$P = \rho \cdot R \cdot T$$

Третім є рівняння нерозривності потоку(2.9.3):

$$M = \rho \cdot \omega \cdot F = \rho_o \cdot \omega_o \cdot F = \rho_o \cdot V_o,$$

де M - масова витрата газу; V_o - об'ємна витрата, зведена до стандартних умов.

Для міста температуру газу за розрахункових умов приймають рівною $t = 0^\circ\text{C}$, тоді $T/T_o = 1$, а розрахункова формула набуває вигляду(2.9.4):

$$P_n^2 - P_k^2 = 1,62 \cdot \lambda \cdot \frac{V_o^2}{d^5} \cdot \rho_o \cdot P_o \cdot l$$

Цим рівнянням користуються для розрахунку газопроводів ІІІС0К0Г0 і середнього тисків.

Для газопроводів низького тиску, де із зміною тиску об'єм газу практично не змінюється, рівняння набуває вигляду(2.9.5):

$$P_n - P_k = 0,81 \cdot \lambda \cdot \frac{V_o^2}{d^5} \cdot \rho_o \cdot l$$

Ноно є основним для розрахунку газопроводів низького тиску.

Порівнюючи ці два рівняння можна дійти висновку, що втрати в газопроводах високого тиску за однакових умов: витраті, густині, діаметрові, довжині, коефіцієнту тертя - в стільки ж разів менші, порівняно з газопроводами низького тиску, в скільки разів середньоарифметичний ТИСК в НИХ

($P_{сер.ар.}$) більший ніж в газопроводах низького тиску. Звідси зрозумілі економічні переваги газопроводів високого тиску.

Значення коефіцієнта тертя рекомендовано визначати за рівняннями:

- для ламінарного режиму ($Re < 2000$) (2.9.6):

$$\lambda = \frac{64}{Re}$$

- Для критичної області ($2000 < Re < 4000$) (2.9.7):

$$\lambda = 0,0025 \cdot \sqrt[3]{Re};$$

- для турбулентного режиму ($Re > 4000$) (2.9.8):

$$\lambda = 0,11 \cdot \left(\frac{n}{d} + \frac{68}{Re} \right)^{0,25},$$

де n - еквівалентна шорсткість, см.

Число Рейнольдса визначають за формулою (2.9.9):

$$Re = 0,0354 \cdot \frac{V}{d \cdot \nu},$$

де V - витрата газу, м³/год, при температурі 0°C і тиску 0,10132 МПа; d - внутрішній діаметр газопроводу, см; ν - коефіцієнт кінематичної в'язкості газу, м²/с при температурі 0°C і тиску 0,10132 МПа;

Втрати тиску в місцевих опорах визначають за рівнянням, Па (2.9.10):

$$\Delta P_{\text{м.о}} = \sum \zeta \cdot \frac{w^2}{2} \cdot \rho$$

де $\sum \zeta$ – сума коефіцієнтів місцевих опорів.

Під час розрахунку надземних та внутрішніх газопроводів втрати в місцевих опорах визначають методом еквівалентних довжин. Еквівалентна довжина - це така умовна довжина газопроводу, її грати тиску в якому еквівалентні втратам тиску в місцевому опорі і коефіцієнтом $\zeta = 1$, м (2.9.11):

$$l_e = \sum \zeta \cdot \frac{d}{\lambda}$$

І еквівалентну довжину, яка залежить від режиму руху газу, визначають за формулами або номограмами, м (2.9.12):

- для турбулентного режиму (2.9.13):

$$l_e = \frac{d}{11 \cdot \left(\frac{n}{d} + 1922 \cdot \frac{\nu \cdot d}{V} \right)^{0,25}};$$

- для ламінарного режиму (2.9.14):

$$l_e = 5,5 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{V}{\nu};$$

- для критичного режиму (2.9.15):

$$l_e = 12,15 \cdot \frac{d^{1,333} \cdot \nu^{0,333}}{V^{0,333}}$$

Діаметр газопроводу попередньо знаходять за формулою, см (2.9.16):

$$d = 0,036238 \cdot \sqrt{\frac{V \cdot (273 + t)}{P_m \cdot w}},$$

де t - температура газу, °C; P_m - середній тиск газу (абсолютний) на розрахунковій ділянці, МПа; V - витрата газу, м³/год; w - швидкість руху газу, м/с.

Розрахункова довжина газопроводу - це сума фактичної (геометричної) і еквівалентної довжин [1, п. Е.101, м(2.9.17)]:

$$l_p = l_e + l_e \cdot \sum \xi$$

Під час розрахунку підземних міських газорозподільних мереж пірати в місцевих опорах приймають в межах 5 - 10% від втрат тиску на тертя [1, п. Е.9].

Якщо окремі ділянки газопроводів низького тиску мають різну геодезичну висоту, то в газопроводі виникає додатковий гідростатичний тиск, величину якого визначають за формулою, Па(2.9.18):

$$\Delta P_z = \pm (\rho_n - \rho_g) \cdot g \cdot H,$$

де H - різниця відміток на початку і в кінці ділянки, м; ρ_n - густина повітря, кг/м³; ρ_g - густина газу, кг/м³.

Додатковий тиск враховують, якщо територія, якою прокладено газопровід має перемінний рельєф місцевості, а також під час розрахунку внутрішніх будинкових і цехових газопроводів низького тиску.

Гідравлічний розрахунок газопроводів рекомендовано виконувати на комп'ютері. В інституті "УкрНДІнжпроект" було розроблено програмний комплекс «Гідравлічний розрахунок газопроводів низького, середнього та високого тиску з використанням ПЕОМ», який призначений для автоматизованого виконання гідравлічних розрахунків газопроводів. Дана програма виконує обчислення витрат газу та підбір стандартних діаметрів, визначає тиск газу в кожному вузлі мережі, навантаження на ГРП, складає специфікацію труб, здійснює повне гідравлічне ув'язування мережі. Під час розрахунку програма здійснює:

- оптимальний розподіл потоків газу від джерел до споживачів по ділянках мережі заданої конфігурації із заданими довжинами ділянок, місцями розташування ГРС та ГРП та навантаженнями на мережу;
- підбір стандартних діаметрів труб із заданого сортаменту з повним використанням перепаду тиску, за умови мінімальних капіталовкладень у систему заданої конфігурації мережі;
- гідравлічне ув'язування мережі з обчисленням величини тиску газу у вузлових точках для заданих витрат, діаметрів та довжин труб.

2. Методика гідравлічного розрахунку газопроводів низького тиску.

Для районів з *однотипною забудовою житлових кварталів* питому шляхову витрату визначають для газорозподільної мережі усього району. Визначення шляхових витрат здійснюють у такій послідовності:

- поділяють територію на райони з однаковим питомим споживанням газу;
- підраховують витрату газу, для цих районів;
- визначають зведену довжину ділянок мережі за формулою, м(2.9.19):

$$L_{зв} = L_e \cdot K_{нов} \cdot K_{зав},$$

де L_e - геометрична довжина ділянки, м; $K_{нов}$ - коефіцієнт поверховості забудови, яку обслуговує один ГРП, для забудови з однаковою кількістю поверхів приймають $K_{нов} = 1$; $K_{зав}$ - коефіцієнт, що

враховує густоту житлової забудови вздовж траси газопроводу, для односторонньої забудови $K_{заб} = 0,5$, а для двосторонньої $K_{заб} = 1$.

$$V_{n.ш} = \frac{V_{ГРП} - V_{зос}}{\sum_{i=1}^n L_{зв}},$$

- знаходять питомі шляхові витрати газу, м³/год(м) (2.9.20):

де: $V_{ГРП}$ - витрата газу ГРП, який живить відповідний район забудови, м³/год; $V_{зос}$ - витрата газу зосередженими споживачами, які приєднані до мережі низького тиску, м³/год. • шляхові витрати газу на ділянках для району поділеного на зони визначають за виразом, м³/год(2.9.21):

$$V_{ш}^i = L_{дiл} \cdot \sum q_{i.з},$$

де $\sum q_{i.з}$ - сума питомих шляхових витрат газу на ділянці для живлення відповідних зон.

- шляхові витрати газу на ділянках району з однотипною забудовою визначають за виразом, м³/год (2.9.22):

$$V_{ш}^i = L_{зв} \cdot V_{n.ш}$$

Розрахункова витрата газу на ділянці складається з транзитної та розрахункової шляхової витрати, м³/год(2.9.23):

$$V_p = V_m + V_{р.ш}$$

де V_m - транзитна витрата на ділянці, м³/год; $V_{р.ш}$ - розрахункова шляхова витрата газу на ділянці, м³/год; V_j - шляхова витрата газу на ділянці, м³/год.

Транзитна витрата газу розрахункової ділянки - це сума витрат зосередженими споживачами, приєднаними у кінці даної ділянки, транзитних і шляхових витрат подальших ділянок, м³/год(2.9.24):

$$V_{mp}^i = V_{зос}^i + V_{mp}^{i+1} + V_{ш}^{i+1}$$

За відсутності зосереджених споживачів її можна визначити як суму шляхових витрат газу усіх ділянок, на які подається газ від розрахункової ділянки(2.9.24):

$$V_{mp}^i = \sum V_{ш}^i$$

Результати розрахунку витрат газу на ділянках зводять в таблицю (таблиця 10.2 або 10.3).

Гідравлічний розрахунок кільцевих газових мереж

Метою гідравлічного розрахунку є визначення діаметрів ділянок мережі за умови найбільш повного використання розрахункового перепаду тиску і транспортування необхідної витрати газу.

Розрахунок кільцевої мережі низького тиску здійснюють в два етапи. На першому етапі розподіляють потоки газу і визначають розрахункові витрати для всіх ділянок мережі, для заданого розрахункового перепаду тиску підбирають діаметри; виконують гідравлічне ув'язування мережі, перевіряють ступінь використання розрахункового перепаду тиску і в разі необхідності змінюють окремі діаметри.

На другому етапі для підвищення надійності мережі вирішують задачу взаємного резервування ділянок і уточнюють діаметри основних кілець. Якщо діаметри ділянок змінюють, то весь розрахунок і ув'язку мережі повторюють.

Газорозподільні мережі низького тиску розраховують на постійний перепад 1200 Па, для садибної забудови дозволено приймати 1500 Па [1, п. Е.5].

Початковий тиск на виході з ГРІ приймають з розрахунку, що у внутрішніх газопроводах житлових будинків він не повинен перевищувати 3000 Па, а громадських будинків та підприємств побутового обслуговування - 5000 Па. В будь-якому разі діаметр вуличних мереж не повинен бути меншим ніж 32 мм.

$$R_{сер} = \frac{\Delta P_p}{1,1 \cdot \sum L_{дiл.напр}},$$

Втрати тиску в місцевих опорах приймають в межах 10% від втрат тиску на тертя, тоді середні питомі втрати тиску для кожного напрямку будуть складати, Па/м(2.9.25):

де ΔP_p - розрахунковий перепад тиску, приймають не більше ніж 1200 Па; $\sum L_{дiл.напр}$ - сума довжин ділянок розрахункового напрямку руху газу, м.

За витратою газу та середньою питомою втратою тиску по номограмам (додаток 15 або 16) підбирають діаметри для всіх ділянок мережі та визначають дійсні питомі втрати тиску, $P_{дiл}$. Для підвищення надійності постачання газу діаметри труб на ділянках кільця мають бути однаковими або відрізнятись не більше ніж на сортамент. Дійсні втрати тиску та його величина у кінці ділянки становитимуть, Па(2.9.26):

$$\begin{aligned}\Delta P_{дiл}^i &= R_{дiл}^i \cdot 1,1 \cdot L_{дiл}^i \\ P_{к}^i &= P_{н}^i - \Delta P_{дiл}^i\end{aligned}$$

Діаметри повинні бути підібрані так, щоб кільцева похибка ув'язування втрат тиску для кожного кільця, а також від точок живлення до кінцевих точок в кожному напрямку не була більшою ніж 10%(2.9.27):

$$\begin{aligned}\delta &= \frac{\sum \Delta P_{дiл}^i}{0,5 \cdot \sum |\Delta P_{дiл}^i|} \cdot 100 \leq 10\% \\ \delta &= \frac{\Delta P_p - \sum \Delta P_{дiл}^i}{\Delta P_p} \cdot 100 \leq 10\%\end{aligned}$$

Якщо кільцева похибка більша ніж 10%, то перерозподіляють потоки газу у кільцевій мережі.

Для мереж низького тиску поправну витрату визначають за формулою, м/год(2.9.28):

$$\begin{aligned}\Delta V_k &= \Delta V_k' + \Delta V_k'' \\ \Delta V_k' &= - \frac{\sum \Delta P_{дiл}^i}{1,75 \cdot \sum \frac{\Delta P_{дiл}^i}{V_{дiл}^i}}\end{aligned}$$

Нові розрахункові витрати на ділянках, що не мають сусідніх кілець визначають за виразом (2.9.29).

$$V_{P.H} = V_p + \Delta V_k$$

Де V_p – Розрахункова витрата, прийнята попереднім поточкорозподілом; ΔV_k – поправна витрата розрахункового кільця. Для ділянок суміжних кілець поправну витрату визначають за формулою (9.35),

$$\Delta V_{дiл} = \Delta V_k + \Delta V_j$$

де ΔV_j – поправна витрата сусіднього кільця

а нову розрахункову витрату за формулою (9.36).

$$V_{P.H} = V_p + \Delta V_{дiл}$$

Після визначення нових витрат знаходять втрати тиску на кожній ділянці, діаметри труб не змінюють. Відтак розраховують похибку ув'язування усіх кілець та відносні похибки за формулами (10.15) та (10.16). Якщо похибка перевищує допустиму, то розрахунок повторюють. Результати обчислень наводять в табличній формі (таблиця 10.4).

Якщо проектом газорозподільної мережі однаковий діаметр труб не був передбачений, то ув'язування кілець виконують зміною діаметра труб на окремих ділянках кільця. Якщо похибка більша ніж +10%, то діаметри труб на ділянках з напрямком руху газу за годинниковою стрілкою необхідно збільшити. І, навпаки, якщо вона менша ніж -10%, то необхідно збільшити діаметри труб на ділянках з напрямком руху газу проти годинникової стрілки.

Розрахунковий перепад тиску для відгалужень (тупикових ділянок) буде дорівнювати різниці тисків у точках приєднання відгалуження та кінцевій. Якщо тиск на виході з ГРП становить $P_n = 3000$ Па, то кінцевий тиск буде складати $P_k = 1800$ Па

3. Методика гідравлічного розрахунку поліетиленових газопроводів.(самосмійно)

1. Гідравлічний розрахунок допускається проводити за наведеними нижче формулами або номограммами, складеними за цими формулами.

2. Розрахункові втрати тиску в розподільних газопроводах низького тиску слід приймати не більше 180 даПа (мм вод.ст.), в т.ч. у вуличних і внутрішньоквартальних газопроводах - 120, дворових і внутрішніх газопроводах - 60 даПа (мм вод.ст.). (1 даПа = 10 Па)

3. Гідравлічний розрахунок газопроводів середнього та високого тисків у всій області турбулентного руху газу слід проводити за формулою:

$$P_1^2 - P_2^2 = 1,45 \cdot 10^{-5} \left(\frac{n}{d_i} + 1922 \frac{\theta d_i}{Q} \right)^{0,25} \frac{\theta^2}{d^5} l \rho_0 \quad (1)$$

де: P_1 - максимальний тиск газу на початку газопроводу, МПа;

P_2 - те ж, в кінці газопроводу, МПа;

l - розрахункова довжина газопроводу постійного діаметра, м;

d_i - внутрішній діаметр газопроводу, см;

θ - коефіцієнт кінематичної в'язкості газу при температурі 0 ° С і тиску 0,10132 МПа, м²/с;

Q - витрата газу при нормальних умовах (при температурі 0 ° С і тиску 0,10132 МПа), м³/ч;

n - еквівалентна абсолютна шорсткість внутрішньої поверхні стінки труби, яка приймається для поліетиленових труб рівною 0,002 см;

ρ - щільність газу при температурі 0 ° С і тиску 0,10132 МПа, кг/м³.

5. Падіння тиску в місцевих опорах (трійники, запірна арматура тощо) допускається враховувати шляхом збільшення розрахункової довжини газопроводів на 5-10%.

6. При виконанні гідравлічного розрахунку поліетиленових газопроводів діаметр газопроводу слід попередньо визначати за формулою:

$$d_i = 0,036238 \sqrt{\frac{Q(273 + t)}{P_m V}} \quad (2)$$

де: t - температура газу, °С;

P_m - середній тиск газу (абсолютне) на розрахунковій ділянці газопроводу, МПа;

V - швидкість газу м / с (приймається не болєв 7 м / с для газопроводів низького тиску, 15 м / с - середнього та 25 м / с - для газопроводів високого тиску);

d_i, Q - позначення ті ж, що й у формулі (1).

Отримане значення діаметра газопроводу слід приймати як вихідної величини при виконанні гідравлічного розрахунку газопроводів.

7. Для спрощення розрахунків з визначення втрат тиску в поліетиленових газопроводах середнього і високого тисків рекомендується використовувати номограму, розроблену інститутами ВНІПГаздобича і ГіпроНІПГаз для труб діаметром від 63 до 226 мм включно.

8. Падіння тиску в газопроводах низького тиску слід визначати за формулою:

$$H = 69 \left(\frac{n}{d_i} + 1922 \frac{\theta d_i}{Q} \right)^{0,25} \frac{Q^2}{d_i^5} \rho l \quad (3)$$

де: H - втрати тиску, Па;

n, d, θ, Q, ρ, l - позначення ті ж, що й у формулі (1).

9. При розрахунку, газопроводів низького тиску слід враховувати гідростатичний напір H_g , мм вод.ст., що визначається за формулою:

$$H_g = \pm 9,8h (\rho_a - \rho_0)$$

где: h - різниця абсолютних відміток початкових і кінцевих ділянок газопроводу, м;

ρ_a - щільність повітря, кг/м³, при температурі 0 ° С і тиску 0,10132 МПа;

ρ_o - позначення ті ж, що й у формулі (1).

10. Гідравлічний розрахунок кільцевих мереж газопроводів слід виконувати з ув'язкою тисків газу у вузлових точках розрахункових кілець при максимальному використанні допустимої втрати тиску газу. Проблема втрат тиску в кільці допускається до 10%.

При виконанні гідравлічного розрахунку надземних та внутрішніх газопроводів з урахуванням ступеня шуму, створюваного рухом газу, слід приймати швидкості руху газу не більш 7 м / с для газопроводів низького тиску, 15 м / с - для газопроводів середнього тиску, 26 м / с - для газопроводів високого тиску.

11. Враховуючи складність і трудомісткість розрахунку діаметрів газопроводів низького тиску, особливо кільцевих мереж, зазначений розрахунок рекомендується проводити на ЕОМ або по відомим номограммам для визначення втрат тиску в газопроводах низького тиску. Номограма для визначення втрат тиску в газопроводах низького тиску для природного газу з $\gamma = 0,73$ кг/м³ і $J = 14,3$ 106 м² / с наведена на рис. 2.

У зв'язку з тим, що зазначені номограми складені для розрахунку сталевих газопроводів, отримані значення діаметрів, внаслідок більш низького коефіцієнта, шорсткості поліетиленових труб, слід зменшувати на 5-10%.