

МЕТОД УТОЧНЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ РОЗПОДІЛУ ГАЗУ В ГАЗОВИХ МЕРЕЖАХ НАСЕЛЕНИХ ПУНКТІВ

А.І. Ксенич

ІФНТУНГ, 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (03422) 42166,
e-mail: tznng@nimg.edu.ua

Проведено аналітичні розрахунки, які засвідчили, що існуючі на сьогодні нормативні методи прогнозування розподілу газу в системах газопостачання низького та середнього тиску з сталевих труб не достовірно описують наявні газодинамічні процеси. Запропоновано метод уточнення результатів гідрравлічних розрахунків, який базується на введенні коригуючих коефіцієнтів. Для всіх режимів руху газу та всього діапазону співвідношень шляхової та транзитної витрати газу на ділянках газових мереж запропоновано поліноміальні математичні моделі коригуючих коефіцієнтів розрахункової витрати газу та перепаду тиску, які характеризуються високим ступенем вірогідності апроксимації. Шляхом комп'ютерного моделювання досліджено вплив даних моделей на проектні та експлуатаційні параметри роботи сталевих газопроводів систем газопостачання населених пунктів. Доведено необхідність зміни діаметрів деяких ділянок газових мереж з метою попередження аварійних режимів їх роботи.

Ключові слова: газові мережі населених пунктів, низький тиск, середній тиск, розрахункова витрата, гідрравлічний розрахунок.

Проведены аналитические расчеты, показывающие, что существующие на сегодня нормативные методы прогнозирования распределения газа в системах газоснабжения низкого и среднего давления с стальных труб не достоверно описывают имеющиеся газодинамические процессы. Предложен метод уточнения результатов гидравлических расчетов, основанный на введении корректирующих коэффициентов. Для всех режимов движения газа и всего диапазона соотношений путевого и транзитного расхода газа на участках газовых сетей предложено полиномиальные математические модели корректирующих коэффициентов расчетного расхода газа и перепада давления, которые характеризуются высокой степенью достоверности аппроксимации. Путем компьютерного моделирования исследовано влияние данных моделей на проектные и эксплуатационные параметры работы стальных газопроводов систем газоснабжения населенных пунктов. Доказана необходимость изменения диаметров некоторых участков газовых сетей с целью предупреждения аварийных режимов их работы.

Ключевые слова: газовые сети населенных пунктов, низкое давление, среднее давление, расчетный расход, гидравлический расчет

The analytical calculations have been made, which showed that the current normative forecast methods of gas distribution in the systems of low and medium pressure gas supply in steel pipes fail to describe the existing gas-dynamic processes properly. The method of result clarification of hydraulic calculations, based on the corrective coefficients application, was proposed. For all modes of gas flow and the full range of ratios for railways and transit gas consumption in the areas of gas networks there are offered polynomial mathematical models of the adjustment coefficients of the calculated gas flow rate and pressure drop, which are characterized by a high degree of approximation probability. The influence of these models on the design and operating parameters of steel gas pipelines of gas supply system in the populated localities were studied by the means of computer simulation. The necessity to change the diameters of certain sections of gas pipelines to prevent the emergency modes of operation was proved.

Key words: gas networks of populated localities, low pressure, medium pressure, rated flow, hydraulic calculation

Актуальність теми. На сьогоднішній день Україна є головним транзитером природного газу до європейських ринків та основним його споживачем. Її газотранспортна система є другою за розмірами в Європі після Росії й однією з найбільших у світі. Забезпечення внутрішніх споживачів природним газом здійснюється газовими мережами (з надлишковим тиском до 1,2 МПа), довжина яких становить 349,2 тис. км.

На даний час при сучасному рівні розвитку технологій проектування та експлуатації систем газопостачання населених пунктів важливе значення має розроблення достовірних методів і алгоритмів гідрравлічних розрахунків газових мереж та шляхи удосконалення існуючих методів розрахунку систем газопостачання. Актуальним завданням на сьогоднішній день є реалізація цих методів у програмному забезпеченні.

Методики гідрравлічного розрахунку газових мереж, які рекомендовані чинними нормативними документами [1], базуються на низьці припущень, основними з яких є такі: фізичні властивості газу беруться за нормальних умов, витрата газу зводиться до нормальних умов, температура газу приймається рівною 0°C, коефіцієнт гідрравлічного опору при турбулентному режимі незалежно від зони тертя і матеріалу труб обчислюється за формулою Альтшуля, не враховуються втрати енергії на подолання різниці геодезичних позначок точок траси. Зазначені припущення погіршують точність прогнозування пропускної здатності та енерговитратності газових мереж, що здорожує проекти газифікації населених пунктів, зменшує ступінь надійності функціонування систем газопоста-

чання, а в деяких випадках може призвести й до виникнення аварійних ситуацій.

У роботах [2,3] доведена необхідність урахування впливу профілю траси на пропускну здатність і загальну енерговитратність газових мереж низького тиску довільної структури та запропоновано математичні моделі для урахування зазначеного чинника. Одержані результати стосуються як сталевих, так і поліетиленових газових мереж. У роботі [4] за результатами експериментальних досліджень запропоновано математичні моделі для коефіцієнта гідравлічного опору поліетиленових газових мереж низького і середнього тисків для різних режимів руху у повному діапазоні зміни витрат газу.

Аналіз літературних джерел засвідчив, що переважна більшість вітчизняних та зарубіжних робіт, присвячених дослідженням газодинамічних процесів в трубопроводах, стосується магістрального транспорту газу і не урахує особливості руху газу в газових мережах. Своєрідність газодинамічних процесів в системах розподілу газу пояснюється відносно невеликими витратами газу, наявністю значних шляхових відборів газу, малими значеннями тиску газу і надзвичайно складною геометричною структурою.

Мета і задачі досліджень. Метою роботи є аналіз наявних методик прогнозування розподілу газу в системах газопостачання та розробка пропозицій і рекомендацій щодо методів їх уточнення.

Досягнення цієї мети вимагає розроблення уточнених математичних моделей значення розрахункової витрати газу на ділянках газової мережі низького та середнього тисків населених пунктів.

Об'єкт дослідження – газові мережі низького та середнього тиску систем газопостачання населених пунктів.

Предмет дослідження – залежність значення розрахункової витрати газу від частки шляхової витрати на ділянці.

Методи дослідження: математичне моделювання процесів перекачування газу, компаративний аналіз.

Системи газопостачання населених пунктів - це складна система газопроводів, яка подас газ численним споживачам, наприклад, до житлових будинків. Витрати газу споживачами приблизно однакові, споживачі розміщені на приблизно однакових відстанях. При прогнозуванні розподілу газу може бути використана модель газопроводу з рівномірним і безперервним відбором газу по довжині [5,6]. Так, гідравлічні розрахунки газових мереж низького, середнього та високого тисків проводяться за чинною нормативною методикою, рекомендованою ДБН В.2.5-20:2001. Як зазначалося, дана методика не є досконалою, оскільки в ній прийнято деякі припущення, що певною мірою впливають на достовірність розрахунків. Зок-

рема, незалежно від режиму руху газу на ділянці, розрахункова витрата газу визначається за формулою

$$Q_{p.n.} = Q_m + 0,5Q_{ш}, \quad (1)$$

де $Q_{ш}$ – шляхова витрата газу, яка відбирається розміщеними по довжині газопроводу шляховими споживачами газу;

Q_m – транзитна витрата газу, яка не використовується на даному газопроводі, а проходить по ньому транзитом для використання на далі розміщених (за рухом газу) ділянках газової мережі.

Згідно з моделлю рівномірного відбору газу по довжині трубопроводу розрахункову витрату газу на ділянках газових мереж населених пунктів слід визначати за формулою [7,8]

$$Q_{p.y.} = \left[\frac{(Q_T + Q_{ш})^{3-m} - Q_T^{3-m}}{(3-m)Q_{ш}} \right]^{\frac{1}{2-m}}, \quad (2)$$

де m – показник режиму руху газу в формулі Лейбензона.

Із формули (2) видно, що розрахункова витрата газу залежить від режиму руху газу (коефіцієнта режиму m) і співвідношення транзитних і шляхових витрат газу на ділянці газопроводу.

Для ламінарного режиму руху газу $m = 1$. З урахуванням цього формула (2) після математичних перетворень набуває вигляду моделі (1).

Аналіз фактичних режимів руху газу в зовнішніх газопроводах низького та середнього тисків засвідчив, що в системах газопостачання населених пунктів ламінарний режим руху газу відсутній, а перекачування проводять за турбулентного режиму, зона гідравлічно гладких труб ($m = 0,25$) та зона змішаного тертя ($m = 0,123$).

Результати досліджень [5,6,7] свідчать, що при різних режимах руху газу та різних співвідношеннях транзитних і шляхових витрат газу на ділянці газопроводу коефіцієнт біля шляхової витрати у формулі (1) змінюється у вузьких межах - від 0,5 до 0,57.

Проведемо розрахунок похибки прогнозування значення розрахункової витрати газу, зумовленої використанням нормативної моделі (1), за умови наявності турбулентного режиму руху газу на ділянці. Для врахування співвідношення транзитної і шляхової витрати газу введемо поняття коефіцієнта частки шляхової витрати від загальної витрати газу на ділянці

$$k = \frac{Q_{ш}}{Q_{ш} + Q_T}. \quad (3)$$

Параметр k може змінюватися в межах від 0 до 1. Так, при $k = 0$ шляхова витрата газу на ділянці відсутня, отже, розрахункова витрата рівна транзитній. За відсутності транзитної витрати газу, коли ділянка є останньою в системі ділянок, $k = 1$.

Виразимо з формули (3) значення транзитної витрати газу

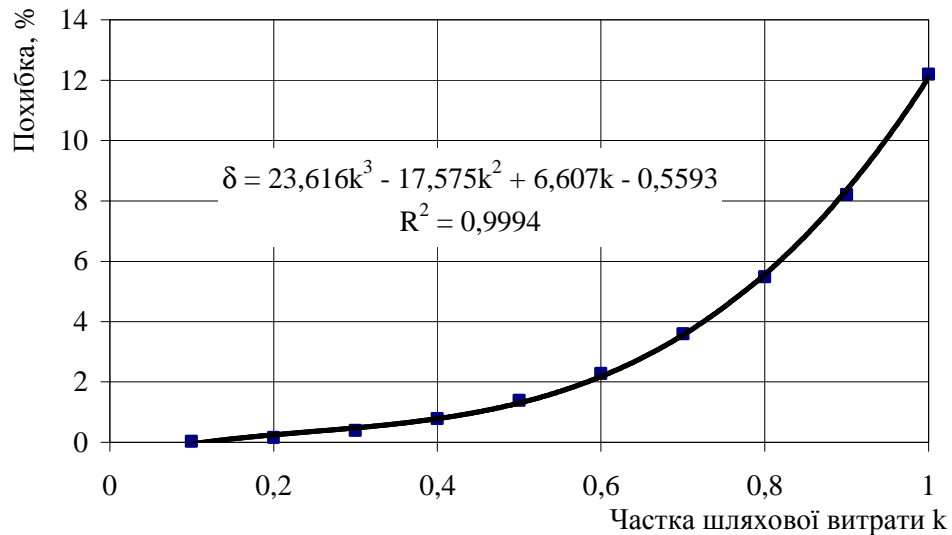


Рисунок 1 – Графічна залежність похибки обчислення розрахункової витрати газу від частки шляхової витрати k для турбулентного режиму, зона гідравлічно-гладких труб

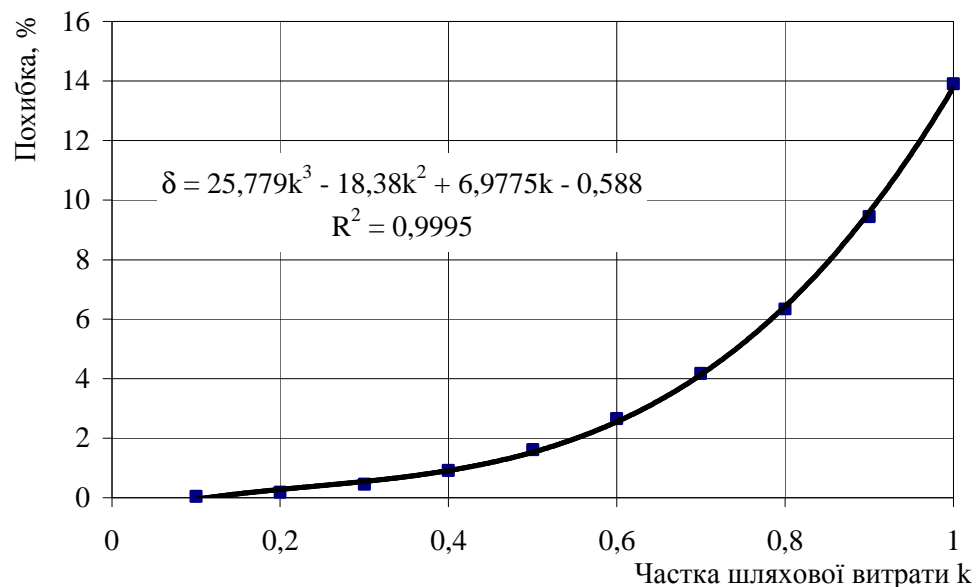


Рисунок 2 – Графічна залежність похибки обчислення розрахункової витрати газу від частки шляхової витрати k для турбулентного режиму, зона змішаного тертя

$$Q_T = Q_{ш} \left(\frac{1-k}{k} \right) \quad (4)$$

Похибку обчислення розрахункової витрати газу знайдемо за формулою

$$\delta = \frac{Q_{р.у.} - Q_{р.н.}}{Q_{р.у.}} \cdot 100\% \quad (5)$$

Підставивши в формулу (5) моделі (1) і (2), та з урахуванням формули (4) отримаємо

$$\delta = \left(1 - \frac{(1-0,5 \cdot k) \cdot \left(\frac{1-(1-k)^{3-m}}{(3-m) \cdot k^{3-m}} \right)^{2-m}}{k} \right) \cdot 100\% \quad (6)$$

Наведемо графічну залежність похибки обчислення розрахункової витрати газу (6) залежно від значень параметра k . За режиму руху газу в зоні гідравлічно-гладких труб дана залежність представлена на рисунку 1, для зони змішаного тертя – на рисунку 2.

Результати розрахунку неточності обчислення за розрахунковою моделлю (1) відносно моделі рівномірного відбору газу по довжині трубопроводу (2) засвідчили, що похибка коливається в межах від 0 % до 12 % в випадку перекачування газу в зоні гідравлічно-гладких труб, та до 14 % при перекачуванні в зоні змішаного тертя. Найбільше значення похибки прогнозування розподілу газу припадає на ділянки з відсутньою тратитною витратою газу, коли значення параметра $k = 1$.

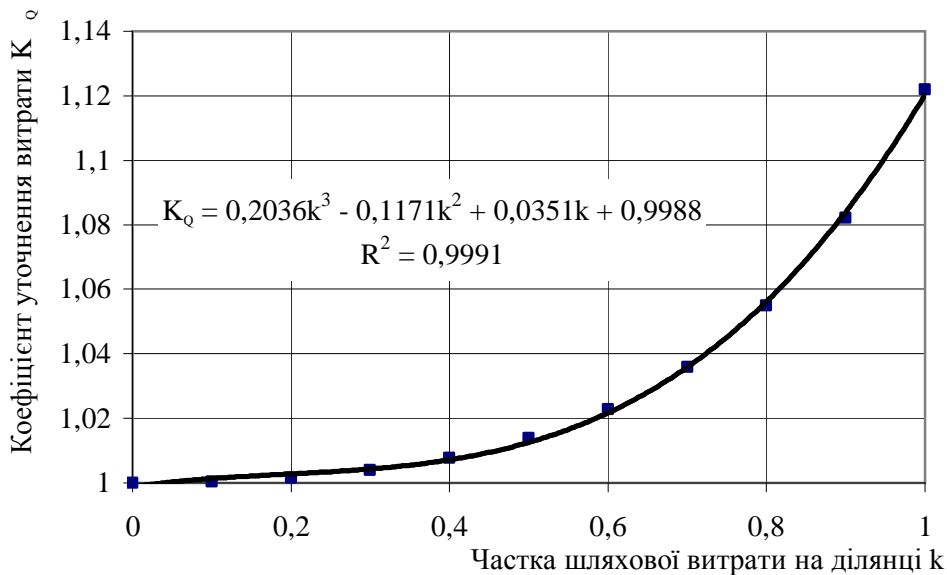


Рисунок 3 – Залежність коефіцієнта уточнення розрахункової витрати газу K_Q на ділянці від частки шляхової витрати k для турбулентного режиму, зона гідравлічно-гладких труб

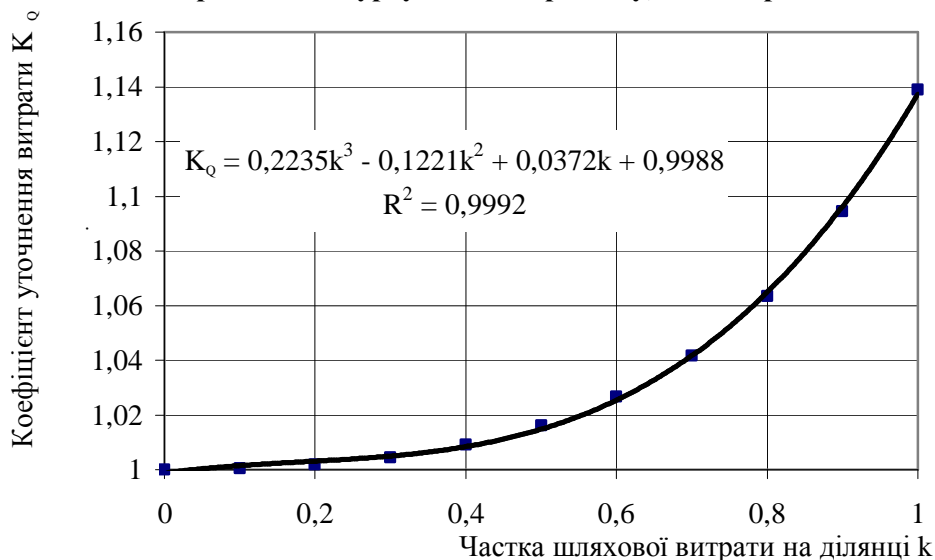


Рисунок 4 – Залежність коефіцієнта уточнення розрахункової витрати газу K_Q на ділянці від частки шляхової витрати k для турбулентного режиму, зона змішаного тертя

Для нівелювання вищезазначених похибок запропоновано введення коефіцієнта для уточнення нормативного значення розрахункової витрати газу на ділянках газових мереж

$$K_Q = \frac{Q_{p.y.}}{Q_{p.n.}}, \quad (7)$$

відповідно уточнене значення розрахункової витрати складе

$$Q_{p.y.} = K_Q \cdot Q_{p.n.} \quad (8)$$

Формула для обчислення коефіцієнта (7) з урахуванням моделей (1), (2), (3) набуде вигляду

$$K_Q = \frac{(1 - 0,5 \cdot k) \cdot \left(\frac{1 - (1 - k)^{3-m}}{(3 - m) \cdot k^{3-m}} \right)^{2-m}}{k} \quad (9)$$

Зобразимо графічно модель (9) залежно від значень частки шляхової витрати газу на ділянці k для турбулентного режиму руху газу в зоні гідравлічно-гладких труб (рисунок 3), та для зони змішаного тертя (рисунок 4).

Використовуючи математичне моделювання отримано поліноміальні моделі коефіцієнта уточнення розрахункової витрати:

за умови руху газу в зоні гідравлічно-гладких труб

$$K_Q = 0,2036 \cdot k^3 - 0,1171 \cdot k^2 + 0,0351 \cdot k + 0,9988; \quad (10)$$

за умови руху газу в зоні змішаного тертя

$$K_Q = 0,2235 \cdot k^3 - 0,1221 \cdot k^2 + 0,0372 \cdot k + 0,9988. \quad (11)$$

Отримані моделі мають високий ступінь вірогідності апроксимації, що свідчить про їх достовірність.

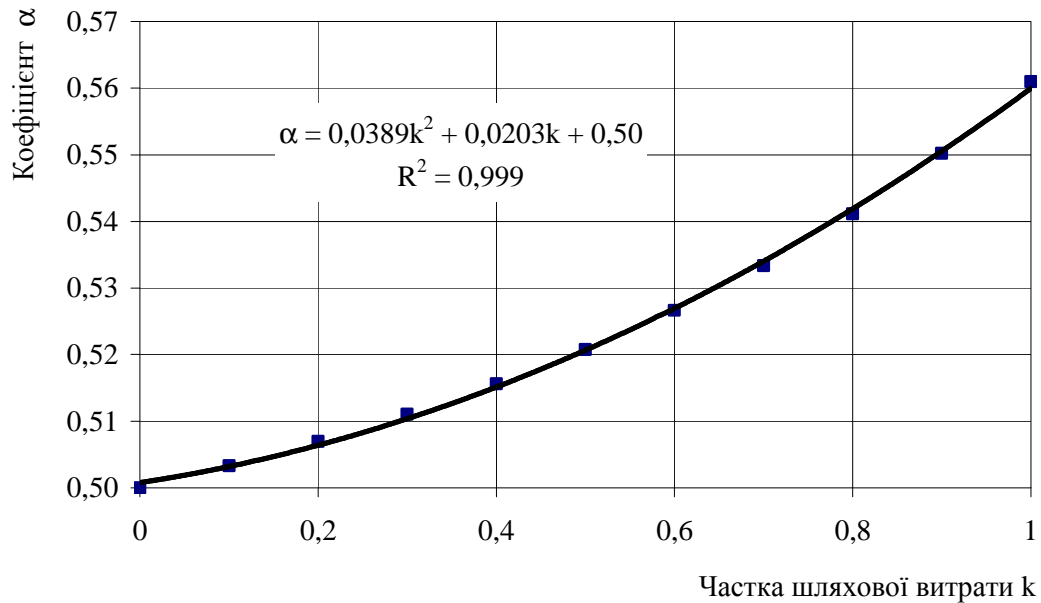


Рисунок 5 – Графічна залежність коефіцієнта α в формулі розрахункової витрати (12) від частки шляхової витрати k у випадку турбулентного режиму, зона гідравлічно-гладких труб

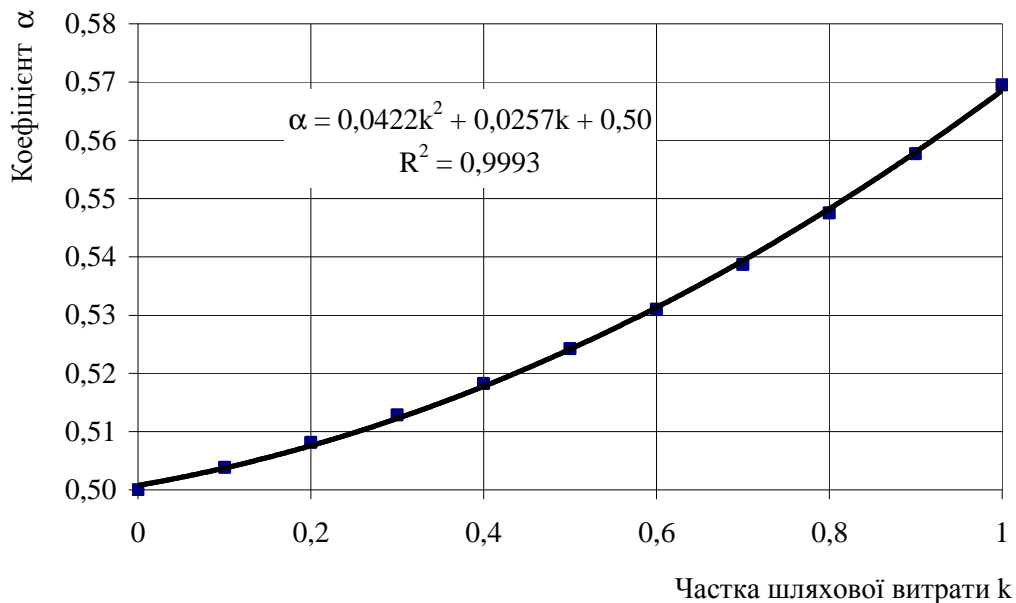


Рисунок 6 – Графічна залежність коефіцієнта α в формулі розрахункової витрати (12) від частки шляхової витрати k у випадку турбулентного режиму, зона змішаного тертя

В загальному випадку розрахункову витрату газу на ділянках газових мереж можна записати в вигляді [5,6,7]

$$Q_p = Q_T + \alpha \cdot Q_{ш}, \quad (12)$$

де α – коефіцієнт, значення якого залежить від режиму руху газу та частки шляхової витрати газу на ділянці.

Згідно з формулою (12) коефіцієнт α визначається як

$$\alpha = \frac{Q_p - Q_T}{Q_{ш}}. \quad (13)$$

З урахуванням моделі рівномірного розподілу газу (2) та залежності (3) формула (13) набуде вигляду

$$\alpha = 1 - \frac{1}{k} + \left(\frac{1 - (1 - k)^{3-m}}{(3 - m) \cdot k^{3-m}} \right)^{\frac{1}{2-m}}. \quad (14)$$

Зобразимо графічно модель (14) залежно від значень частки шляхової витрати газу на ділянці k для турбулентного режиму руху газу в зоні гідравлічно-гладких труб (рисунок 5), та для зони змішаного тертя (рисунок 6).

Математичне моделювання графічних залежностей дало змогу отримати поліноміальні моделі коефіцієнта α , які характеризуються високим ступенем вірогідності апроксимації:

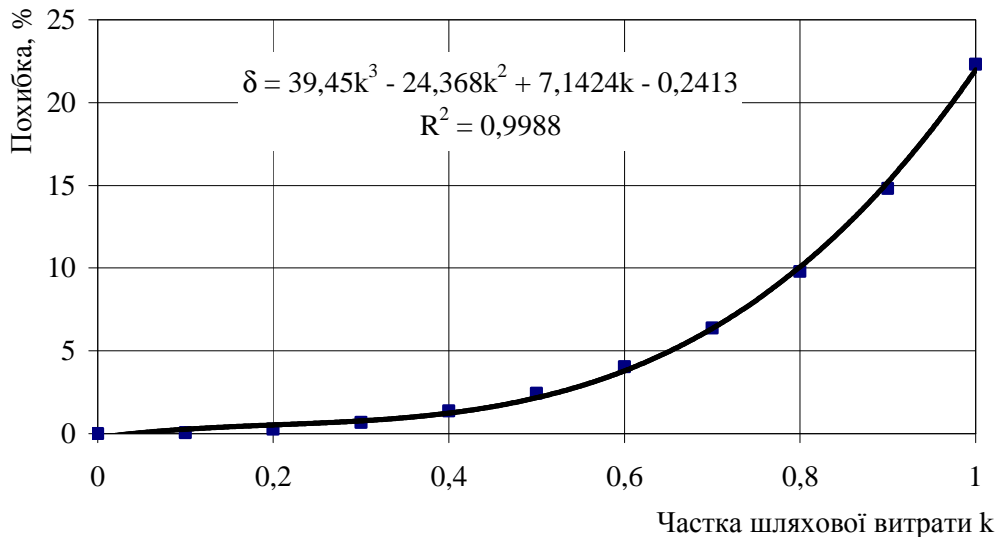


Рисунок 7 – Графічна залежність похибки обчислення перепаду тиску газу на ділянці за моделлю (19) від частки шляхової витрати k в випадку турбулентного режиму газу, зона гідравлічно-гладких труб

за умови руху газу в зоні гідравлічно-гладких труб

$$\alpha = 0,0389 \cdot k^2 + 0,0203 \cdot k + 0,50; \quad (15)$$

за умови руху газу в зоні змішаного тертя

$$\alpha = 0,0422 \cdot k^2 + 0,0257 \cdot k + 0,50. \quad (16)$$

Як видно з графічних залежностей, значення коефіцієнта α в формулі (12) змінюється в межах від 0,5 (за відсутності шляхового відбору газу на ділянці) до 0,57 (за відсутності транзитної витрати газу).

Розглянемо ступінь впливу неточності обчислення розрахункової витрати газу за моделлю (1) на енергетичні параметри роботи ділянок газових мереж. Зокрема, втрати тиску від тертя за розрахункової постійної по довжині витраті газу можна визначити за формулою [7,8,9]

$$\Delta P_{\tau} = \frac{A v^m \rho \cdot L Q_p^{2-m}}{2 F^{2-m} D^{1+m}}, \quad (17)$$

де A - коефіцієнт математичної моделі, значення якого залежить від гідравлічного режиму руху газу в газопроводі;

v - кінематична в'язкість газу, $\text{м}^2/\text{с}$;

ρ - густина газу за робочих умов, $\text{кг}/\text{м}^3$;

L - довжина ділянки, м ;

F - площа перерізу внутрішньої порожнини трубопроводу, м^2 ;

D - внутрішній діаметр ділянки, м .

Визначимо похибку обчислення перепаду тиску газу за формулою (17) в випадку використання моделі розрахункової витрати (1) до моделі (2)

$$\delta = \frac{\Delta P_{\tau,y} - \Delta P_{\tau,n}}{\Delta P_{\tau,y}} \cdot 100\% = \frac{Q_{p,y}^{2-m} - Q_{p,n}^{2-m}}{Q_{p,y}^{2-m}} \cdot 100\%. \quad (18)$$

З урахуванням залежностей (1), (2), (3) та після низки перетворень формула (18) набуває вигляду

$$\delta = \left(1 - \frac{(1-0,5 \cdot k)(3-m) \cdot k^{2-m}}{1-(1-k)^{3-m}} \right) \cdot 100\%. \quad (19)$$

Зобразимо графічно модель (19) залежно від значень частки шляхової витрати газу на ділянці k для турбулентного режиму руху газу в зоні гідравлічно-гладких труб (рисунок 7), та для зони змішаного тертя (рисунок 8).

Аналіз отриманих графічних залежностей свідчить про те, що похибка обчислення перепаду тиску газу на ділянці в випадку використання моделі (1) суттєво залежить від частки шляхової витрати газу на ділянці. Максимальне значення даної неточності припадає на ділянки з відсутньою транзитною витратою газу і складає 27 %, що негативно впливає на проектні та експлуатаційні розрахунки систем газопостачання населених пунктів.

Для нівелювання вищезазначених похибок запропоновано введення коефіцієнта для уточнення перепаду тиску газу на ділянках газових мереж

$$K_p = \frac{\Delta P_{\tau,y}}{\Delta P_{\tau,n}}. \quad (20)$$

Відповідно до залежності (20) уточнений перепад тиску може бути визначений за формулою

$$\Delta P_{\tau,y} = K_p \cdot \Delta P_{\tau,n}. \quad (21)$$

Формула для обчислення коефіцієнта уточнення тиску (20) з урахуванням моделей (1), (2), (3) набуває вигляду

$$K_p = \left(\frac{(1-0,5 \cdot k) \cdot \left(\frac{1-(1-k)^{3-m}}{(3-m) \cdot k^{3-m}} \right)^{2-m}}{k} \right)^{2-m} = K_Q^{2-m}. \quad (22)$$

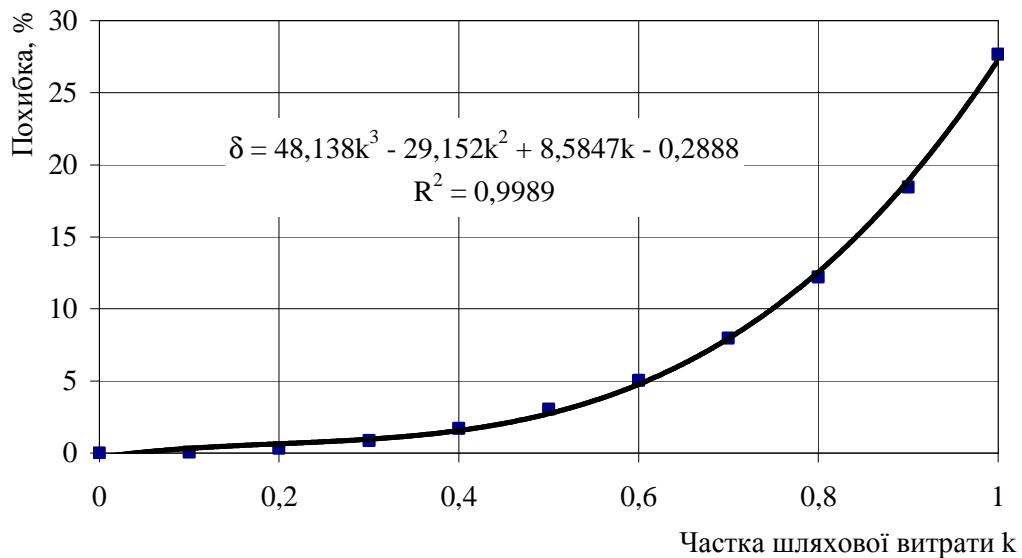


Рисунок 8 – Графічна залежність похибки обчислення перепаду тиску газу на ділянці за моделлю (19) від частки шляхової витрати k в випадку турбулентного режиму руху газу, зона змішаного тертя

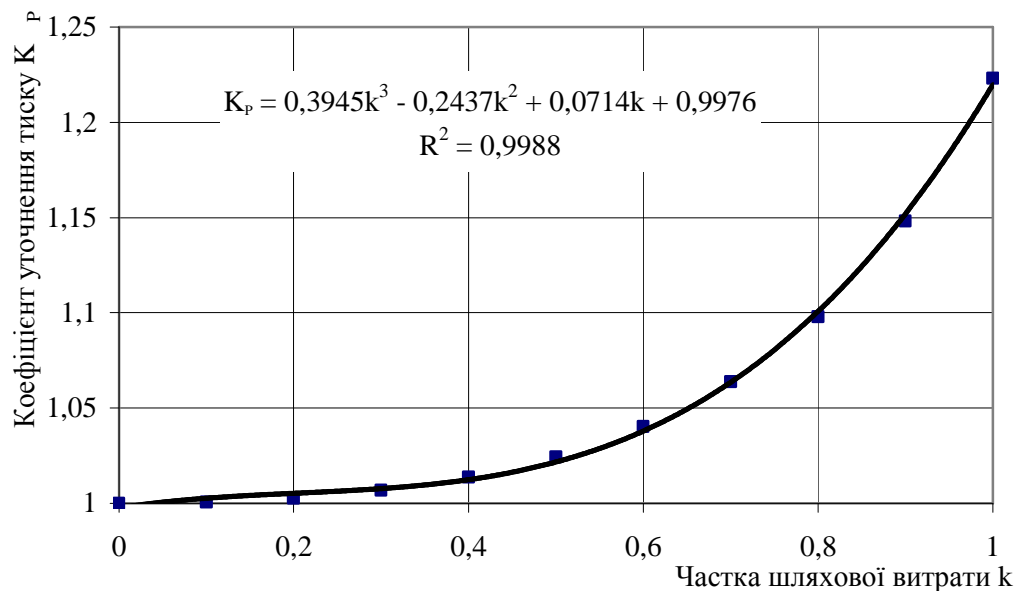


Рисунок 9 – Залежність коефіцієнта уточнення перепаду тиску газу K_p від частки шляхової витрати k для турбулентного режиму руху, зона гідравлічно-гладких труб

Зобразимо графічно залежність коефіцієнта уточнення тиску (22) від значення частки шляхової витрати газу на ділянці k для турбулентного режиму руху газу в зоні гідравлічно-гладких труб на рисунку 9, для зони змішаного тертя – на рисунку 10.

Використовуючи математичне моделювання, отримано поліноміальні моделі коефіцієнта уточнення перепаду тиску газу:

за умови руху газу в зоні гідравлічно-гладких труб

$$K_p = 0,3945 \cdot k^3 - 0,2437 \cdot k^2 + 0,0714 \cdot k + 0,9976; \quad (23)$$

за умови руху газу в зоні змішаного тертя

$$K_p = 0,4814 \cdot k^3 - 0,2915 \cdot k^2 + 0,0858 \cdot k + 0,9971. \quad (24)$$

Отримані моделі мають високий ступінь вірогідності апроксимації, що свідчить про їх достовірність.

Що стосується розбіжностей в обчисленні перепадів тиску газу, слід зазначити, що максимальна неточність припадає на ділянки з відсутньою транзитною витратою газу. Так, за турбулентного режиму руху газу в зоні гідравлічно-гладких труб максимальна похибка складає 22,3 %, в зоні змішаного тертя – 27,7 %. З зростанням частки транзитної витрати газу, дана неточність зменшується. Враховуючи, що в системах газопостачання присутня велика кількість розгалужених кінцевих ділянок, де транзитна витрата відсутня, сумарна похибка проектних та експлуатаційних розрахунків буде

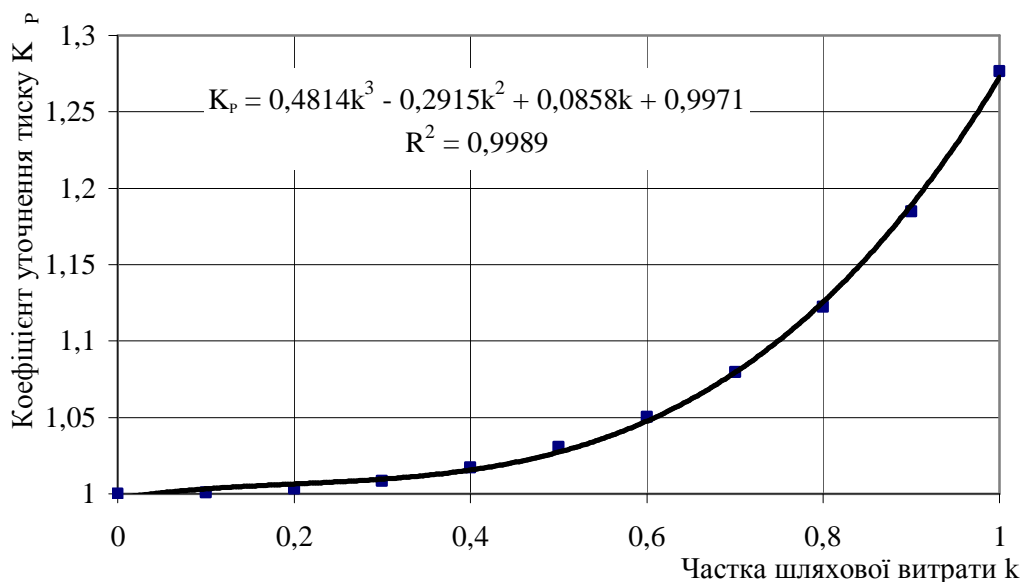


Рисунок 10 – Залежність коефіцієнта уточнення перепаду тиску газу K_p від частки шляхової витрати k для турбулентного режиму руху, зона змішаного тертя

значною. Це свідчить про необхідність урахування запропонованих корегуючих коефіцієнтів.

Апробація розроблених методів уточнення проектних та експлуатаційних параметрів роботи систем газопостачання проведена для конкретної газорозподільної системи. Доведено, що використання запропонованих коефіцієнтів у процесі проектних розрахунків газових мереж вказує на необхідність коригування до більших значень діаметрів низки ділянок з метою запобігання виникненню аварійних режимів їх роботи. Що стосується експлуатаційних розрахунків систем газопостачання, використання запропонованих моделей дає змогу з більшою достовірністю прогнозувати параметри роботи ділянок мереж.

Проведені дослідження засвідчили, що наявні на сьогодні методи прогнозування витрат газу в газових мережах низького та середнього тиску не достовірно описують наявні газодинамічні процеси, що призводить до недостовірності їх результатів проектних та експлуатаційних розрахунків. Тому вважаємо за доцільне увести корективи в державні та галузеві нормативні документи щодо прогнозування величини розрахункової витрати газу на ділянках, передбачивши застосування одержаних залежностей.

Наукова новизна результатів дослідження полягає в отриманні поліноміальних математичних моделей коефіцієнтів уточнення значення розрахункової витрати, розрахованої за рекомендаціями чинного ДБН В.2.5-20:2001, відносно загальноприйнятої моделі рівномірного відбору газу по довжині трубопроводу.

Практична цінність отриманих результатів. Використання запропонованого методу уточнення технологічних параметрів розподілу газу в системах газопостачання при проектних

розрахунках ділянок мережі зменшує імовірність виникнення аварійних режимів їх роботи. Що стосується експлуатаційних розрахунків систем газопостачання, використання запропонованих моделей дає змогу з більшою достовірністю прогнозувати значення енергетичних параметрів роботи ділянок.

Можливим напрямком подальших досліджень слід вважати удосконалення запропонованого методу уточнення технологічних параметрів розподілу газу в системах газопостачання з поліетиленових труб з урахуванням особливостей газодинамічних процесів, що в них протікають.

Література

1 Газопостачання. Інженерне обладнання будинків і споруд. Зовнішні мережі та споруди: ДБН В.2.5-20-2001. – [Чинні від 2001-09-01]. – К.: Держбуд України, 2001. – 286 с.

2 Ксенич А.І. Урахування впливу профілю траси на результати гідравлічних розрахунків газових мереж населених пунктів / А.І. Ксенич, М.Д. Середюк // Розвідка і розробка нафтових і газових родовищ. – 2010. – №1(34). – С. 138–143.

3 Середюк М.Д. Використання барометричної формули для врахування впливу профілю траси на результати гідравлічного розрахунку газових мереж / М.Д. Середюк, А.І. Ксенич // Науковий вісник Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу. – 2010. – № 3(25). – С. 97–101.

4 Ксенич А.І. Результати експериментальних досліджень гідравлічної енерговитратності поліетиленових газопроводів низького тиску / А.І. Ксенич, М.Д. Середюк // Нафтогазова енергетика. – 2011. – №2(15). – С. 57–60.

5 Щербаков С.Г. Проблемы трубопроводного транспорта нефти и газа / С.Г. Щербаков. – М.: Наука, 1982. – 208 с.

6 Ионин А. А. Газоснабжение / А.А. Ионин. – М.: Стройиздат, 1989. – 441 с.

7 Гончарук М.І. Довідник з газопостачання населених пунктів України / Гончарук М.І., Середюк М.Д., Шелудченко В.І. – Івано-Франківськ: Сімик, 2006. – 1314 с.

8 Середюк М.Д. Проектування та експлуатація систем газопостачання населених пунктів: [навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл.] / М.Д. Середюк, В.Я. Малик, В.Т. Болонний. – Івано-Франківськ: Факел, 2003. – 436 с.

9 Середюк М.Д. Технологічні розрахунки газових мереж населених пунктів: [навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл.] / М.Д. Середюк, Л.Д. Пилипів, Ю.І. Зарубіна. – Івано-Франківськ: Факел, 2004. – 183 с.

*Стаття надійшла до редколегії 28.10.13
Рекомендована до друку Оргкомітетом
Міжнародної науково-технічної конференції
«Нафтогазова енергетика 2013»,
(7-11 жовтня 2013 року, ІФНТУНГ),
а також
професором Грудзом В.Я.
(ІФНТУНГ, м. Івано-Франківськ)
канд. техн. наук Степ'юком М.Д.
(УМГ «Прикарпаттрансгаз»,
м. Івано-Франківськ)*