

# Фізико-технічні проблеми транспорту та зберігання енергоносіїв

УДК 622.691.4

## ОСОБЛИВОСТІ РОЗПОДІЛУ ГАЗУ В СИСТЕМАХ ГАЗОПОСТАЧАННЯ ІЗ ПОЛІЕТИЛЕНОВИХ ТРУБ

А.І. Ксенич

ІФНТУНГ, 76019, м.Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (0342) 727139,  
e-mail: tzn g @ n u n g . e d u . u a

*Нормативні методи прогнозування розподілу газу в системах газопостачання низького та середнього тиску із поліетиленових труб не достовірно описують наявні газодинамічні процеси. Запропоновано метод уточнення результатів гідравлічних розрахунків поліетиленових газопроводів, який базується на введенні коригуючих коефіцієнтів. Для всіх режимів руху газу та всього діапазону співвідношень шляхової та транзитної витрати газу на ділянках газових мереж з поліетиленових труб 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 поліетиленових 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, гідравлічний розрахунок.

*Нормативные методы прогнозирования распределения газа в системах газоснабжения низкого и среднего давления из полиэтиленовых труб не достоверно описывают имеющиеся газодинамические процессы. Предложен метод уточнения результатов гидравлических расчетов полиэтиленовых газопроводов, который основан на введении корректирующих коэффициентов. Для всех режимов движения газа и всего диапазона соотношений путевого и транзитного расхода газа на участках газовых сетей с полиэтиленовых труб предложены полиномиальные математические модели корректирующих коэффициентов расчетного расхода газа и перепада давления, характеризующиеся высокой степенью достоверности аппроксимации. Путем компьютерного моделирования исследовано влияние данных моделей на проектные и эксплуатационные параметры работы полиэтиленовых 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

*Current regulatory methods for forecasting of gas distribution in the polyethylene gas supply systems of low and medium pressure do not describe the existing gas-dynamic processes correctly. The method for clarifying the results of polyethylene pipes hydraulic calculations, based on the corrective coefficients, was developed. The polynomial mathematical models of the adjusting coefficients of the design gas flow rate and pressure differential, which are characterized by a high degree of approximation probability, were suggested for all modes of gas motion, as well as for the whole range of balances between travelling and transit gas flow rate on the polyethylene gas network sections. The influence of these models on the design and operating parameters of the polyethylene gas pipelines of settlement gas supplying systems was studied with the help of computer modelling. The necessity to change the diameters of some polyethylene gas pipeline sections in order to prevent the emergency modes of their operation was proved.*

Key words: settlement gas networks, low pressure, design flow rate, hydraulic calculation.

**Актуальність теми.** На теренах України, окрім унікальної системи магістральних газопроводів, функціонує на порядок більша за протяжністю система газових мереж населених пунктів. Вона слугує для постачання природним газом побутових, комунальних та промислових споживачів. Ця система має складну геометричну конфігурацію, проходить в різноманітних топографічних умовах, характеризується різними величинами робочого тиску, передбачає використання труб із різного матеріалу. В останнє десятиріччя для газифікації населених пунктів України, окрім традиційних сталевих труб, почали широко застосовувати поліетиленові газопровідні труби.

Проектування та експлуатація систем газопостачання із поліетиленових труб має ряд особливостей, які на сьогодні ще до кінця не вивчені. Основні відмінності сталевих і поліетиленових газових мереж полягають в особливостях газодинамічних процесів, що супроводжують рух газу. Відмінність газодинамічних процесів впливає на гідравлічну енерговитратність, а отже і пропускну здатність системи газопостачання.

Наявні на сьогодні методи прогнозування технологічних та енергетичних параметрів експлуатації поліетиленових газових мереж базуються на використанні газодинамічних математичних моделей, одержаних дослідним шляхом у випадку руху рідини і газу в сталевих трубах. Автоматичне перенесення закономірностей руху газу в сталевих трубах на поліетиленові труби призводить до суттєвих похибок і не дає можливості адекватно прогнозувати режим їх роботи.

Надійність системи газопостачання є одним із головних пріоритетів при розробці проектів газових мереж населених пунктів. З урахуванням вище зазначеного, розробка достовірних методів і алгоритмів гідравлічних розрахунків газових мереж, а також удосконалення існуючих методів розрахунку систем газопостачання є актуальним завданням на сьогоднішній день.

Методики гідравлічного розрахунку газових мереж (в тому числі і поліетиленових), які рекомендовані чинними нормативними документами [1,2], базуються на низці припущень, основними з яких є: фізичні властивості газу беруться за нормальних умов, витрата газу зводиться до нормальних умов, температура газу приймається рівною 0 °С, коефіцієнт гідравлічного 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 пропускну здатності та енерговитратності газових мереж, що здорожує проекти газифікації населених пунктів, зменшує ступінь надійності функціонування систем газопостачання, а в деяких випадках може призвести й до виникнення аварійних ситуацій.

Проведені теоретичні дослідження закономірностей зменшення гідравлічної енерговитратності розподілу газу в системах газопостачання у разі заміни сталевих труб на поліетиленові свідчать, що ступінь зменшення гідравлічної енерговитратності залежить від режиму руху газу та внутрішнього діаметра газопроводу і коливається в межах від 0 до 25 % [3].

Ще одним фактором, який суттєво впливає на енерговитратність розподілу газу, є подолання газом різниці геодезичних позначок ділянок газових мереж. Зокрема у роботах [4, 5] доведено необхідність урахування впливу профілю траси на пропускну здатність і загальну енерговитратність газових мереж низького тиску з поліетиленових труб довільної структури та запропоновано математичні моделі для урахування зазначеного чинника. Одержані результати стосуються як сталевих, так і поліетиленових газових мереж.

У роботах [6, 7] 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.

На основі дослідних залежностей розподілу газу запропоновано метод коригування проектних параметрів поліетиленових газопроводів низького та середнього тисків з урахуванням їх фактичної енерговитратності [8]. В основу методу покладено можливість укладання послідовно труб різного діаметра – частину ділянки із труб з проектним внутрішнім діаметром, решту – із труб з найближчим меншим стандартним діаметром за умови забезпечення необхідної пропускну здатності системи.

Аналіз літературних джерел свідчить, що переважна більшість робіт, присвячених дослідженням руху газу в газових мережах, стосується особливостей газодинамічних процесів в них. При цьому незначна увага приділяється моделям розподілу газу на ділянках газових мереж населених пунктів за наявності шляхових відборів газу. Так, в нормативних документах [1, 2], а також в роботах [9, 10, 11, 12] при гідравлічному розрахунку систем газопостачання рекомендується використання спрощеної моделі розрахункової витрати газу, яка є частковим випадком моделі рівномірного відбору газу по довжині трубопроводу. Проведені дослідження [13] для сталевих газопроводів засвідчили, що зазначені рекомендації призводять до заниження фактичного перепаду тиску газу на ділянці від 0% до 22% залежно від частки шляхової витрати та режиму руху газу. Враховуючи відмінності газодинамічних процесів в поліетиленових газопроводах, а також той факт, що на даний час переважна більшість систем газопостачання проектується та споруджується з неметалевих труб, розробка уточнених моделей розподілу газу в таких газопроводах є актуальним питанням.

**Мета і завдання досліджень.** Метою роботи є аналіз наявних методик прогнозування

розподілу газу в системах газопостачання з поліетиленових труб та розробка рекомендацій щодо методів їх уточнення.

Досягнення цієї мети вимагає розробки уточнених математичних моделей розрахункової витрати газу на ділянках поліетиленових газових мереж низького та середнього тисків населених пунктів.

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

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

**Методи дослідження:** комп'ютерне та математичне моделювання процесів перекачування газу, компаративний аналіз.

Системи газопостачання населених пунктів – це складна система газопроводів, яка подає газ численним споживачам, наприклад, житловим будинкам. Витрати газу споживачами приблизно однакові, споживачі розміщені на приблизно однакових відстанях. Тому при прогнозуванні розподілу газу, зазвичай, використовуються модель газопроводу з рівномірним і безперервним відбором газу по довжині. Так, на сьогоднішній день гідравлічні розрахунки газових мереж низького, середнього та високого тиску проводяться за чинною нормативною методикою [1], згідно якої 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 віддалених (за рухом газу) ділянках газової мережі.

Згідно моделі рівномірного відбору газу по довжині трубопроводу розрахункову витрату газу на ділянках газових мереж населених пунктів слід визначати за формулою [9,10,11,12]:

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

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.

Формула (1) є частковим випадком моделі (2), коли режим руху газу є ламінарним ( $m = 1$ ). Аналіз фактичних режимів руху газу в зовнішніх газопроводах низького та середнього тисків свідчить, що в системах газопостачання населених пунктів із поліетиленових труб ламінар-

ний режим руху газу відсутній, а перекачування ведеться виключно в турбулентному режимі; зона гідравлічно гладких труб.

Результати досліджень в сталевих газопроводах [9,10,11,13] свідчать, що за турбулентного режиму руху газу та різних співвідношеннях транзитних і шляхових витрат на ділянці газопроводу коефіцієнт біля шляхової витрати у формулі (1) змінюється у вузьких межах – від 0,5 до 0,57.

Згідно експериментальних досліджень пропускну здатності та гідравлічної енерговитратності поліетиленових газопроводів [6,7,8] коефіцієнт режиму руху газу в зоні гідравлічно гладких труб становить  $m = 0,552$ . Дана відмінність в газодинамічних процесах поліетиленових газопроводів впливає і на структуру розподілу газу в них.

Проведемо дослідження похибки обчислення витрати газу за нормативною моделлю (1) відносно загальноприйнятої моделі рівномірної витрат газу (2) для поліетиленових газопроводів з урахуванням фактичних параметрів режиму руху в них.

Визначимо коефіцієнт частки шляхової витрати від загальної витрати газу на ділянці за формулою

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

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,  $k = 1$ .

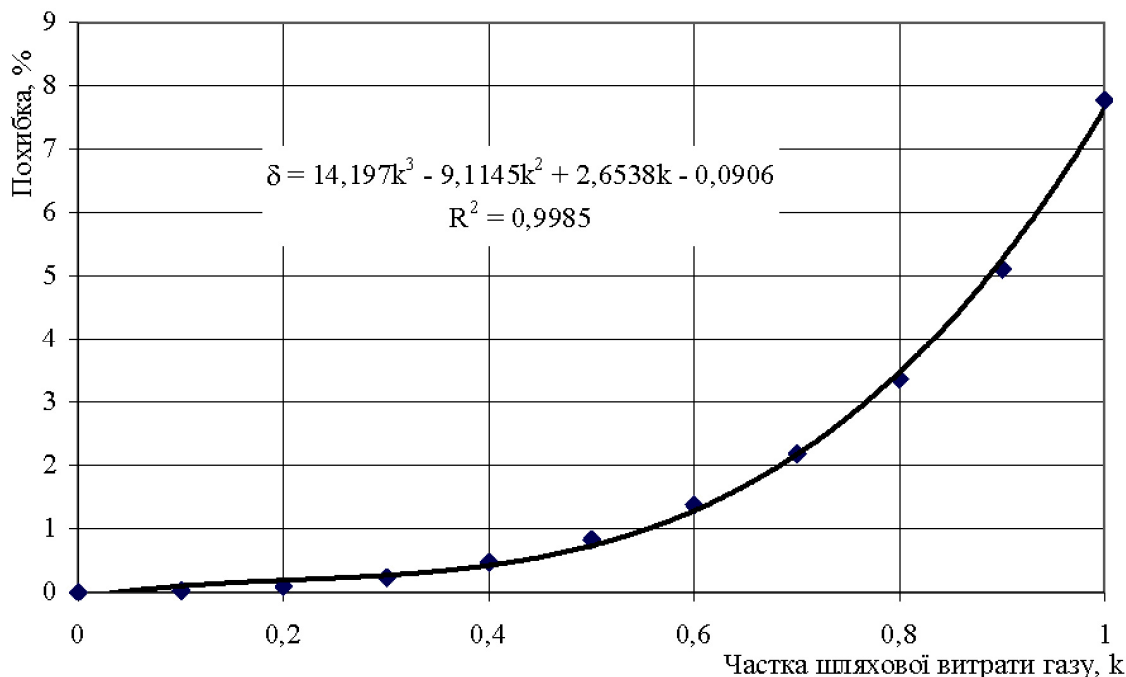
Проведемо розрахунок похибки прогнозування значення розрахункової витрати газу, зумовленої використанням нормативної моделі (1) відносно моделі рівномірного відбору газу (2) для поліетиленових газопроводів

$$\delta = \frac{Q_{p.y.} - Q_{p.n.}}{Q_{p.y.}} \cdot 100\%. \quad (4)$$

З урахуванням формули (1), (2), (3) формула (4) набуде вигляду

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

На рисунку 1 наведено графічну залежність похибки обчислення розрахункової витрати газу (5) в поліетиленових газопроводах залежно від значення параметра  $k$  за турбулентного режиму руху газу в зоні гідравлічно гладких труб ( $m = 0,552$ ). Як видно з результатів розрахунку, отримана неточність коливається в межах від 0 % до 7,8 % залежно від частки шляхової витрати газу на ділянці. При цьому, найбільше значення похибки припадає на ділянки з відсутньою транзитною витратою газу, де параметр  $k = 1$ .



**Рисунок 1 – Графічна залежність похибки обчислення розрахункової витрати газу в поліетиленовому газопроводі за рекомендованою ДБН В.2.5-20:2001 моделлю відносно моделі рівномірного відбору газу по довжині газопроводу**

Для нівелювання вищезазначеної неточності запропоновано введення коефіцієнта уточнення розрахункової витрати газу на ділянках газових мереж

$$K_Q = \frac{Q_{p.y.}}{Q_{p.n.}}, \quad (6)$$

відповідно уточнене значення розрахункової витрати може бути визначене як

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

Формула для обчислення коефіцієнта (6) з урахуванням моделей (1), (2), (3) отримає вигляд

$$K_Q = \frac{(1 - 0,5 \cdot k) \cdot \left( \frac{1 - (1 - k)^{3-m}}{(3 - m) \cdot k^{3-m}} \right)^{2-m}}{k} \quad (8)$$

Зобразимо графічно на рисунку 2 залежність коефіцієнта уточнення розрахункової витрати в поліетиленових газопроводах, обчисленої за рекомендаціями [1], залежно від значення частки шляхової витрати газу на ділянці k за турбулентного режиму руху газу в зоні гідравлічно-гладких труб.

Використовуючи математичне моделювання, отримано поліноміальну модель коефіцієнта уточнення (8), якщо перекачування газу відбувається в зоні гідравлічно-гладких труб

$$K_Q = 0,142 \cdot k^3 - 0,0911 \cdot k^2 + 0,0265 \cdot k + 0,9991 \quad (9)$$

Отримана модель має високий ступінь вірогідності апроксимації, що свідчить про її достовірність.

Проведемо дослідження значення коефіцієнта біля шляхової витрати в формулі (1) для поліетиленових газопроводів з урахуванням

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

$$Q_p = Q_T + \alpha \cdot Q_{ш}, \quad (10)$$

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

Згідно нормативних рекомендацій [1,2], незалежно від режиму руху газу та матеріалу газопроводу,  $\alpha$  слід приймати рівним 0,5. Однак в роботах [9,10,11,13] зазначається, що для сталевих газопроводів коефіцієнт  $\alpha$  змінюється в межах від 0,5 до 0,57 залежно від режиму руху газу.

Згідно з формулою (10) коефіцієнт  $\alpha$  можна визначити як:

$$\alpha = \frac{Q_p - Q_T}{Q_{ш}} \quad (11)$$

Враховуючи модель рівномірного розподілу газу (2), значення коефіцієнту  $\alpha$  набуде вигляду

$$\alpha = 1 - \frac{1}{k} + \left( \frac{1 - (1 - k)^{3-m}}{(3 - m) \cdot k^{3-m}} \right)^{\frac{1}{2-m}} \quad (12)$$

Зобразимо графічно залежність значення коефіцієнту  $\alpha$  для поліетиленових газопроводів від значення частки шляхової витрати газу на ділянці k для турбулентного режиму руху газу в зоні гідравлічно-гладких труб (рисунок 3). Математичне моделювання графічної залежності дало змогу отримати поліноміальну модель коефіцієнта  $\alpha$  з високим ступенем вірогідності апроксимації:

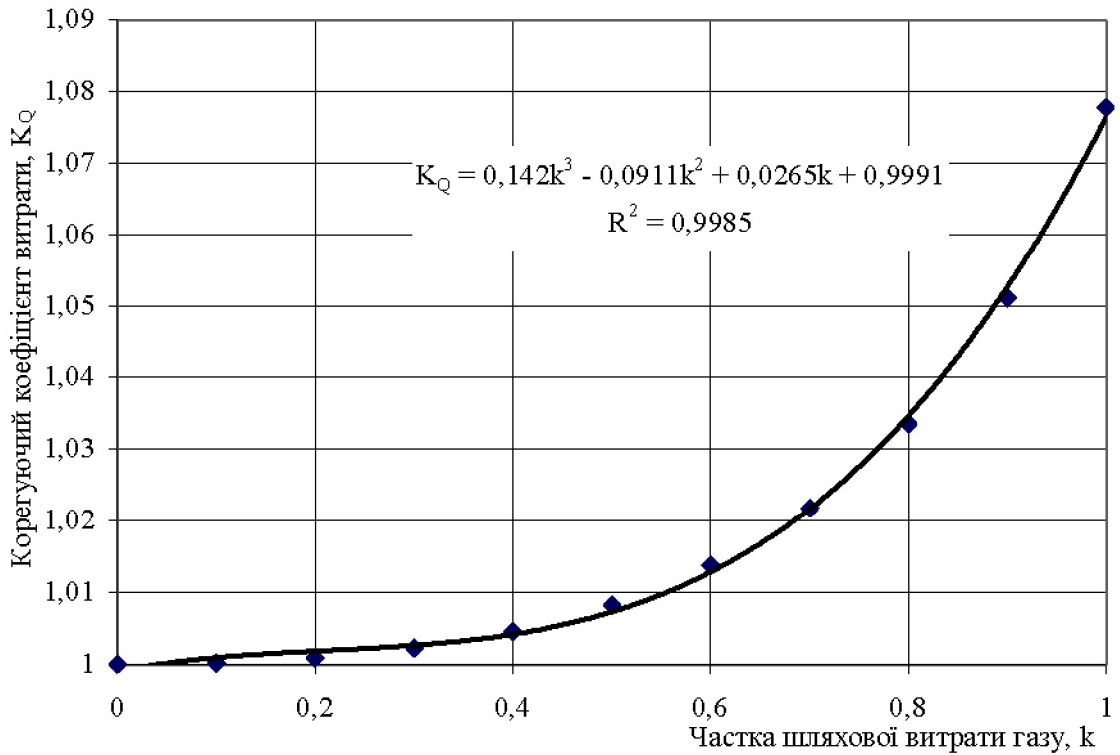


Рисунок 2 – Залежність коефіцієнта уточнення розрахункової витрати газу  $K_Q$  в поліетиленовому газопроводі від частки шляхової витрати  $k$  для турбулентного режиму, зона гідравлічно-гладких труб

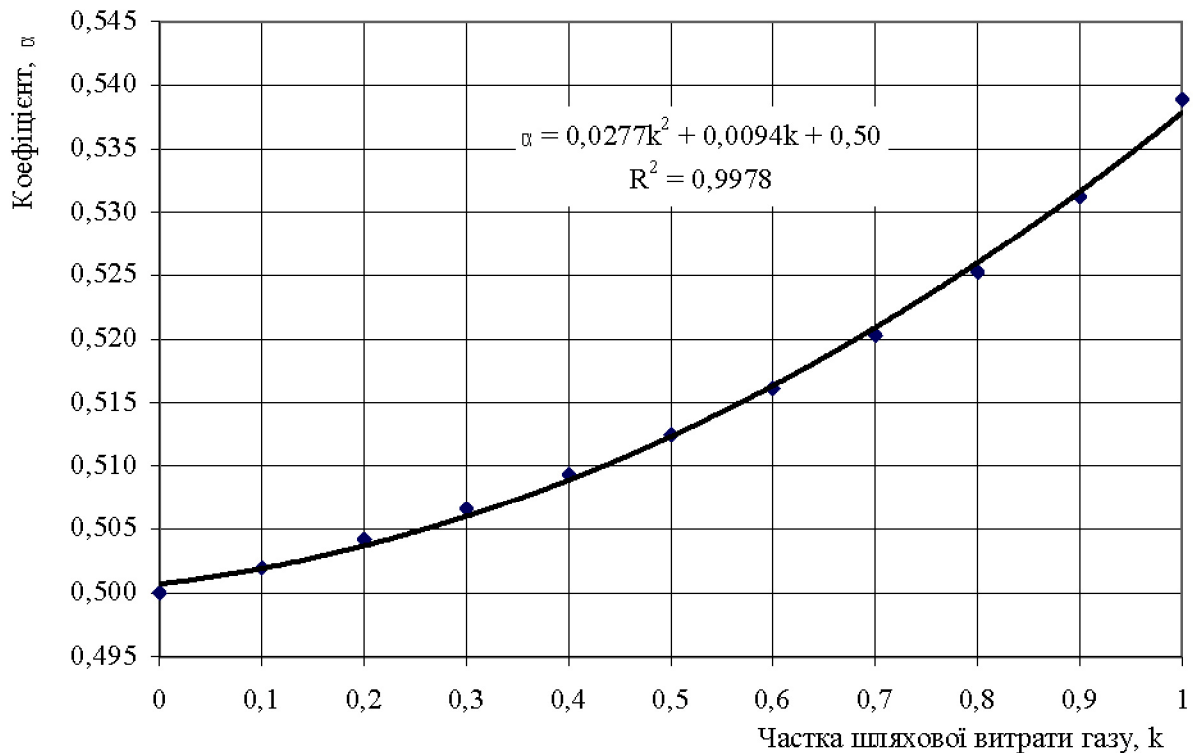


Рисунок 3 – Графічна залежність значення коефіцієнта  $\alpha$  від частки шляхової витрати  $k$  для поліетиленових газопроводів за режиму руху газу в зоні гідравлічно-гладких труб ( $m = 0,552$ )

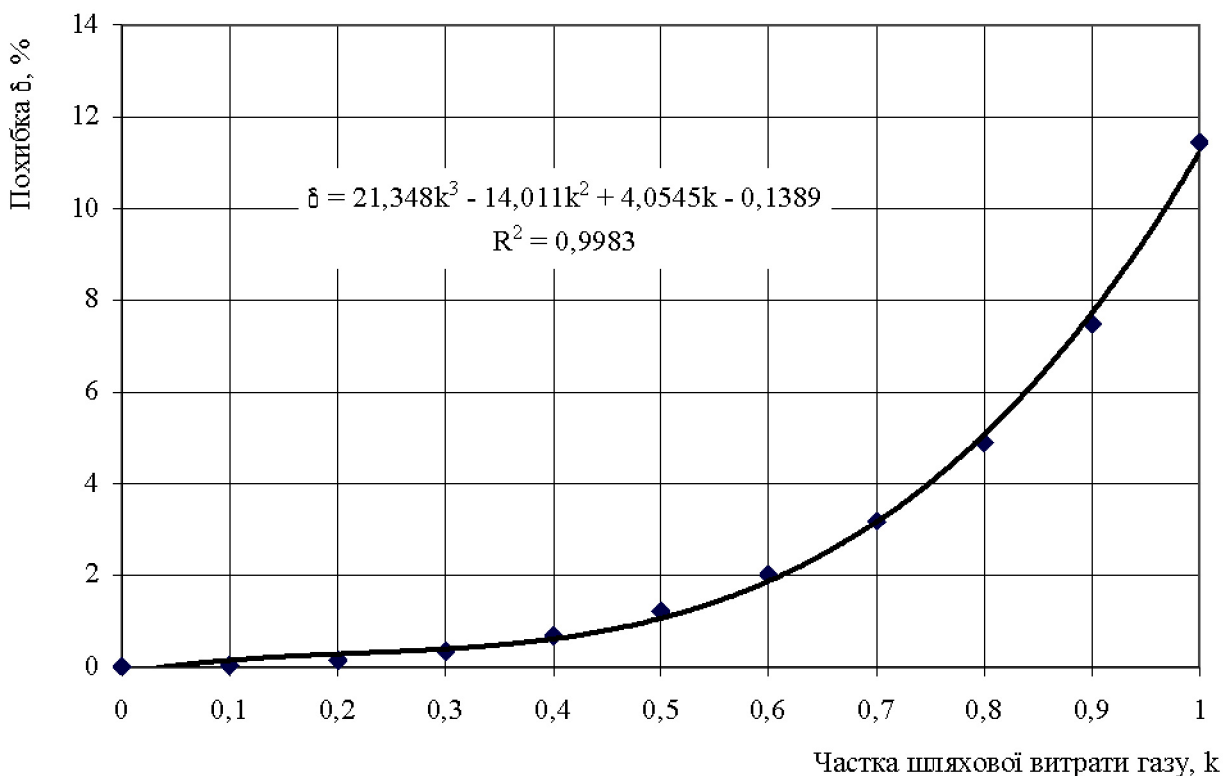


Рисунок 4 – Графічна залежність похибки обчислення перепаду тиску газу на ділянці поліетиленового газопроводу від частки шляхової витрати k

$$\alpha = 0,0277 \cdot k^2 + 0,0094 \cdot k + 0,50. \quad (13)$$

Отримане значення  $\alpha$  для поліетиленового газопроводу систем газопостачання може змінюватися в межах від 0,5 (за відсутності шляхового відбору газу на ділянці) до 0,539 (за умови відсутності транзитної витрати газу).

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

$$\Delta P_{\tau} = \frac{A v^m \rho \cdot L Q_p^{2-m}}{2 F^{2-m} D^{1+m}}, \quad (14)$$

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

$v$  – кінематична в'язкість газу, м<sup>2</sup>/с;

$\rho$  – густина газу за робочих умов, кг/м<sup>3</sup>;

$L$  – довжина ділянки, м;

$F$  – площа перерізу внутрішньої порожнини трубопроводу, м<sup>2</sup>;

$D$  – внутрішній діаметр ділянки, м.

Результати дослідження газодинамічних параметрів роботи поліетиленових ділянок систем газопостачання [6, 7, 8] засвідчили, що параметр  $A$  слід приймати

$$A = 4,21. \quad (15)$$

Обчислимо похибку визначення перепаду тиску газу за формулою (17) в випадку використання моделі розрахункової витрати (1), відно-

сно моделі (2), для поліетиленової ділянки газопроводу

$$\delta = \frac{\Delta P_{\tau.у.} - \Delta P_{\tau.н.}}{\Delta P_{\tau.у.}} \cdot 100\% = \frac{Q_{p.у.}^{2-m} - Q_{p.н.}^{2-m}}{Q_{p.у.}^{2-m}} \cdot 100\%. \quad (16)$$

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

$$\delta = \left( 1 - \frac{(1 - 0,5 \cdot k)(3 - m) \cdot k^{2-m}}{1 - (1 - k)^{3-m}} \right) \cdot 100\%. \quad (17)$$

Зобразимо графічно на рисунку 4 залежність похибки обчислення перепаду тиску на ділянці поліетиленових газових мереж низького тиску від значення частки шляхової витрати газу за турбулентного режиму руху газу в зоні гідравлічно-гладких труб.

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. Максимальне значення даної неточності припадає на ділянки з відсутньою транзитною витратою і складає 11,5 %. Із зростанням частки транзитної витрати газу похибка зменшується. Враховуючи, що в сучасних системах газопостачання присутня велика кількість розгалужених кінцевих ділянок, де транзитна витрата відсутня, сумарне відхилення проектних та експлуатаційних параметрів буде значним. Це свідчить про необхідність розробки методів уточнення перепаду тиску газу в поліетиленових газопроводах.

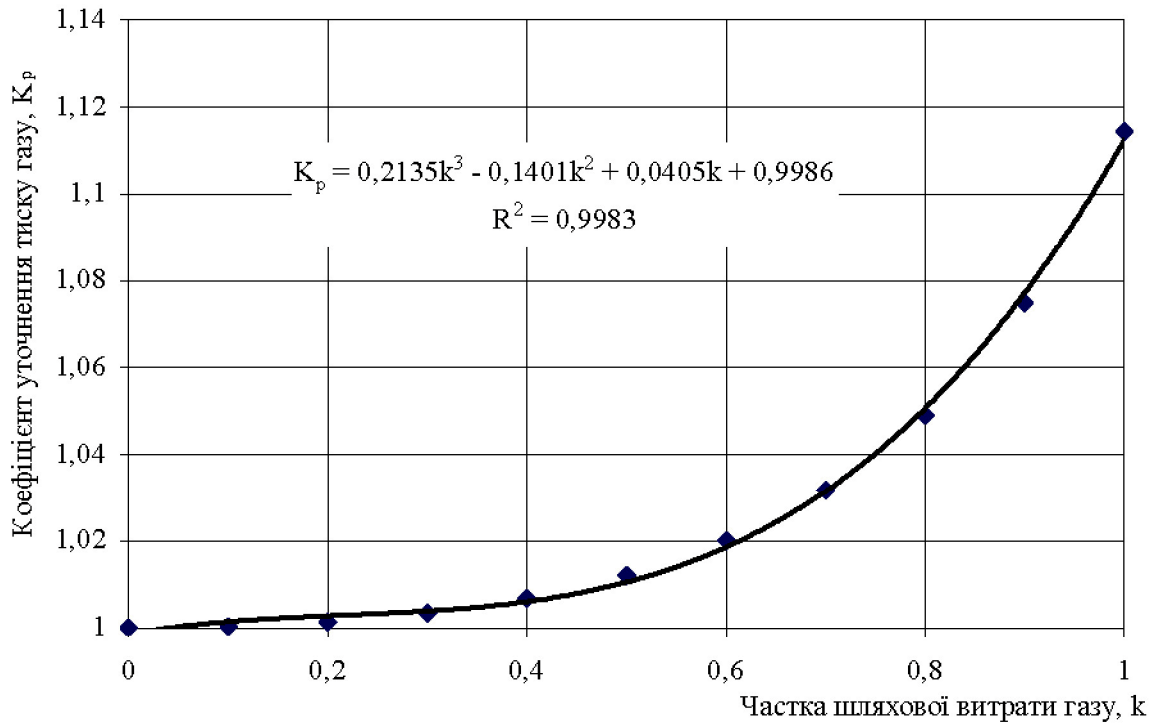


Рисунок 5 – Залежність коефіцієнта уточнення перепаду тиску газу  $K_p$  від частки шляхової витрати  $k$  для турбулентного режиму руху, зона гідравлічно-гладких труб

Для нівелювання вищезазначеної похибки запропоновано введення коефіцієнта уточнення перепаду тиску газу на ділянках газових мереж

$$K_p = \frac{\Delta P_{\tau,y}}{\Delta P_{\tau,n}} \quad (18)$$

Відповідно до залежності (18) уточнений перепад тиску може бути визначений за формулою

$$\Delta P_{\tau,y} = K_p \cdot \Delta P_{\tau,n} \quad (19)$$

Формула для обчислення коефіцієнта уточнення тиску (18) з урахуванням моделей (1), (2), (3) отримає вигляд

$$K_p = \left( \frac{(1 - 0,5 \cdot k) \cdot \left( \frac{1 - (1 - k)^{3-m}}{(3 - m) \cdot k^{3-m}} \right)^{2-m}}{k} \right)^{2-m} = K_Q^{2-m} \quad (20)$$

Зобразимо графічно залежність коефіцієнта уточнення тиску (20) для поліетиленових газопроводів від значення частки шляхової витрати газу на ділянці  $k$  для турбулентного режиму руху газу в зоні гідравлічно-гладких труб.

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

$$K_p = 0,2135 \cdot k^3 - 0,1401 \cdot k^2 + 0,0405 \cdot k + 0,9986 \quad (21)$$

Отримана модель має високий ступінь вірогідності апроксимації, що свідчить про її достовірність.

Динаміка зміни розбіжностей обчислення перепаду тиску газу свідчить про те, що максимальна неточність припадає на поліетиленові ділянки з відсутньою транзитною витратою газу. Так, за турбулентного режиму руху газу в зоні гідравлічно-гладких труб максимальна похибка складає 11,5 %.

Апробацію розроблених методів уточнення проектних та експлуатаційних параметрів роботи систем газопостачання проведено на конкретній газорозподільній системі з поліетиленових труб. 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 поліетиленових ділянок мереж.

Проведені дослідження засвідчили, що наявні на сьогодні методи прогнозування витрат газу в газових мережах низького тиску з поліетиленових труб не достовірно описують наявні газодинамічні процеси. Це призводить до похибок в обчисленні проектних та експлуатаційних параметрів їх роботи. Тому вважаємо доцільним увести корективи в державні та галузеві нормативні документи щодо прогнозування величини розрахункової витрати газу на

поліетиленових 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 для систем газопостачання з поліетиленових труб.

### **Практична цінність отриманих результатів**

Використання запропонованого методу уточнення технологічних параметрів розподілу газу в системах газопостачання з поліетиленових труб 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 мережі.

Можливим напрямком подальших досліджень слід вважати дослідження неточностей прогнозування режимів роботи ділянок мереж, що зумовлені використанням моделі рівномірного відбору газу по довжині трубопроводу та розробку уточненого методу гідравлічного розрахунку систем газопостачання з урахуванням точкових шляхових відборів.

### **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 Газопроводи з поліетиленових труб. Інженерне обладнання будинків і споруд. Зовнішні мережі та споруди: ДБН В.2.5-41:2009. – Офіц. вид. – К.: Мінрегіонбуд України, 2010. – 149 с. – (Державні будівельні норми України)

3 Ксеніч А.І. Порівняння енерговитратності транспортування газу в сталевих і поліетиленових газопроводах систем газопостачання населених пунктів / А.І. Ксеніч, М.Д. Середюк // Науковий вісник Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу. – 2009. – № 3(21). – С.20 – 25.

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

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

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

7 Ксеніч А.І. Исследования гидравлического сопротивления полиэтиленовых газопроводов низкого давления / А.И. Ксеніч, М.Д. Середюк // Надежность и безопасность магистрального трубопроводного транспорта: материалы VII международной научно-технической конференции 22-25 ноября 2011 г. – Новополюк: Полоцкий государственный университет. – 2011. – С. 77–79.

8 Ксеніч А.І. Особливості гідравлічного розрахунку поліетиленових газових мереж із урахуванням їх енерговитратності / А.І. Ксеніч, М.Д. Середюк, І.І. Височанський // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – 2012. – № 1(42). – С. 189–196.

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

10 Юнин А. А. Газоснабжение / А.А. Юнин. – М.: Стройиздат, 1989. – 441 с.

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

12 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.

13 Ксеніч А.І. Метод уточнення технологічних параметрів розподілу газу в газових мережах населених пунктів/ А.І. Ксеніч // Науковий вісник Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу. – 2014. – № 1(36). – С. 131-139.

*Стаття надійшла до редакційної колегії  
28.05.15*

*Рекомендована до друку  
професором Грудзом В.Я.  
(ІФНТУНГ, м. Івано-Франківськ)  
канд. техн. наук Степ'юком М.Д.  
(УМГ «Прикарпаттрансгаз»,  
м. Івано-Франківськ)*