

РОЗРАХУНОК ГАЗОВИХ МЕРЕЖ НИЗЬКОГО ТИСКУ З УРАХУВАННЯМ ЗОСЕРЕДЖЕНОГО ВІДБОРУ ГАЗУ ПО ДОВЖИНІ ДІЛЯНОК

А.І. Ксеніч

ІФНТУНГ, 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (0342) 727139,
e-mail: andriy.ksenych@gmail.com

Проведено аналітичні розрахунки, які засвідчили, що нормативні методи прогнозування розподілу газу в системах газопостачання низького тиску з сталевих та поліетиленових труб не достовірно описують наявні газодинамічні процеси. Доведено, що похибка обчислення перепаду тиску газу за умови використання моделі рівномірного розподілу газу по довжині газопроводу складає до 70 % і залежить від технологічних параметрів роботи ділянки. Запропоновано уточнений метод розрахунку проектних та експлуатаційних параметрів роботи ділянок з урахуванням моделі зосередженого відбору газу по довжині газопроводів. Для всього діапазону співвідношень шляхової та транзитної витрати газу на ділянках газових мереж низького тиску населених пунктів отримано уточнені залежності перепаду тиску та величини розрахункової витрати газу. Шляхом комп'ютерного моделювання досліджено вплив даних моделей на значення проектних та експлуатаційних параметрів роботи 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, розрахункова витрата, гідравлічний розрахунок.

Проведены аналитические расчеты, которые показали, что нормативные методы прогнозирования распределения газа в системах газоснабжения низкого давления не достоверно описывают имеющиеся газодинамические процессы. Доказано, что погрешность вычисления перепада давления газа при использовании модели равномерного распределения газа по длине газопровода составляет до 70% в зависимости от технологических параметров работы участка. Предложен уточненный метод расчета проектных и эксплуатационных параметров работы участков по модели сосредоточенных отборов газа по длине газопровода. Для всего диапазона соотношений путевого и транзитного расхода газа на участках газовых сетей низкого давления населенных пунктов получены уточненные зависимости перепада давления и величины расчетного расхода газа. Путем компьютерного моделирования исследовано влияние данных моделей на значение проектных и эксплуатационных параметров работы газопроводов систем газоснабжения населенных пунктов. Доказана необходимость проектных изменений диаметров некоторых участков газовых сетей с целью предупреждения аварийных режимов их работы.

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

In this paper the analytical calculations were performed demonstrating that normative forecasting methods of gas distribution in the low-pressure gas supply networks, made of steel and polyethylene pipes, do not describe existent gas-dynamic processes correctly. It was proved that the error of gas pressure drop calculations using model of even gas distribution along the pipeline is up to 70 % depending on the pipeline operational parameters. Therefore, a revised method for calculating the design and operating parameters of the pipeline sections was presented taking into account a model of the concentrated gas extraction along the pipeline. The refined dependencies of pressure drop and gas design flow rate were obtained for the full range of relations between route and transit gas flow in the pipeline sections of the low-pressure gas networks of localities. The effects of these models on the values of the design and operational parameters of the gas network pipelines were studied by means of computer simulation. The necessity of changing the diameter of some pipeline sections of the gas networks in order to prevent their emergency operation was proved.

Keywords: gas distribution networks of settlements, low pressure, rated flow rate, hydraulic calculations

Актуальність теми. Україна належить до категорії держав, що мають значну за протяжністю систему газопостачання. Станом на 2012 р. загальна протяжність газових мереж з тиском до 1,2 МПа становила 349,2 тис. км. Дана система призначена для забезпечення природним газом побутових, комунальних та промислових споживачів.

Газодинамічні процеси, що протікають в газових мережах, є складними з точки зору їх математичного моделювання. Це пояснюється надзвичайно складною геометричною структурою, наявністю шляхових та значних зосереджених відборів газу, а також широким використанням металевих та неметалевих труб. Це

все ускладнює проведення проектних та експлуатаційних розрахунків, що ставить під сумнів їх достовірність, а отже, і надійність експлуатації таких систем.

На даний час гідравлічні розрахунки систем газопостачання проводяться згідно з рекомендаціями ДБН В.2.5-20:2001 [1]. В даному нормативному документі прийняті деякі припущення для полегшення проведення розрахунків. Це деякою мірою впливає на їх достовірність. Тому на даний час актуальним є питання оцінки ступеня неточності, зумовленої наявністю вищезазначених припущень, а також розроблення уточнених методів, алгоритмів і програмного забезпечення для проведення уточне-

них гідравлічних розрахунків систем газопостачання.

Що стосується уточнених методів розрахунку систем газопостачання, у роботах [2,3] доведено необхідність урахування впливу профілю траси при розрахунку пропускної здатності і загальної енерговитратності газових мереж низького тиску довільної структури та запропоновано математичні моделі для урахування зазначеного чинника. 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.

В газових мережах населених пунктів обсяги споживання газу житловими будинками приблизно однакові, та розміщені вони на однакових відстанях. Тому в ДБН В.2.5-20:2001 для спрощення гідравлічних розрахунків, під час прогнозування розподілу газу, прийнято модель рівномірного і безперервного відбору газу по довжині газопроводу

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

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

Q_m – транзитна витрата газу, об'єм газу, що транзитом проходить розрахунковою ділянкою і призначений для використання на далі розміщених (за рухом газу) ділянках газової мережі.

На рисунку 1 наведено порівняльний аналіз епюр розподілу витрат газу по довжині ділянки газових мереж населених пунктів.

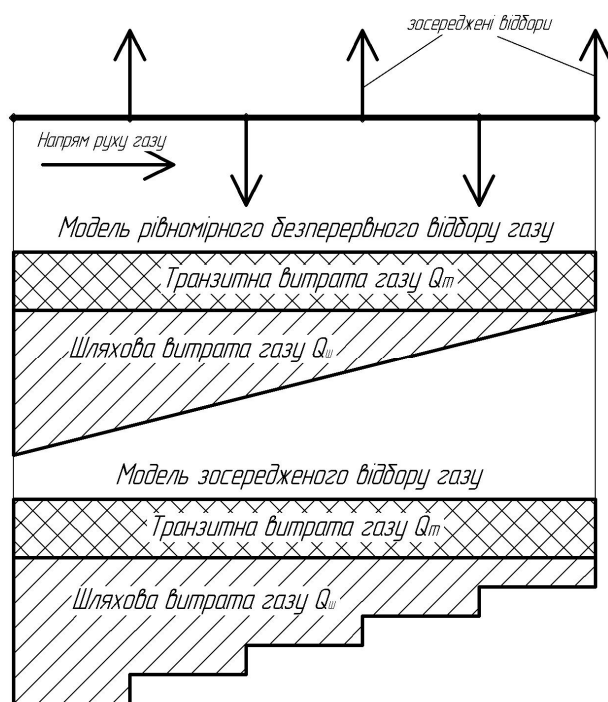


Рисунок 1 – Епюри розподілу витрат газу по довжині ділянок газових мереж низького тиску систем газопостачання населених пунктів

В системах газопостачання населених пунктів проводиться відбір газу споживачами зосереджено. Модель же рівномірного та безперервного відбору газу по довжині газопроводу (1), що рекомендована ДБН В.2.5-20:2001, використовується виключно для спрощення гідравлічних розрахунків газових мереж. Тому постає питання оцінювання величини похибки прогнозування проектних та експлуатаційних параметрів роботи ділянок систем газопостачання, зумовленої даним припущенням.

Мета і задачі досліджень. Метою роботи є дослідження величини неточності прогнозування енергетичних параметрів роботи ділянок газових мереж низького тиску, зумовленої використанням моделі рівномірного та безперервного розподілу газу по довжині газопроводу, а також розроблення методів її нівелювання.

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

Предмет дослідження – моделі зосередженого та рівномірного і безперервного розподілу газу в системах газопостачання.

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

Перепад тиску газу на ділянці газових мереж низького тиску для випадку використання моделі рівномірного безперервного розподілу газу може бути обчислений за формулою

$$\Delta P_p = \frac{A v^m \rho L Q_{p.n.}^{2-m}}{2F^{2-m} D^{1+m}}, \quad (2)$$

де A, m - коефіцієнти математичної моделі гідравлічного опору в формулі Лейбензона, значення яких залежать від режиму руху газу в газопроводі;

v - кінематична в'язкість газу за умов газових мереж, m^2/c ;

ρ - густина газу за умов газових мереж, $кг/м^3$;

L - довжина ділянки газопроводу, $м$;

F - площа внутрішнього поперечного перерізу газопроводу, $м^2$;

D - внутрішній діаметр газопроводу, $м$.

Аналіз фактичних режимів руху газу в вуличних газопроводах низького тиску засвідчив, що в системах газопостачання населених пунктів перекачування проводиться за турбулентного режиму руху газу, зона гідравлічно-гладких труб ($m = 0,25$).

Що стосується моделі зосередженого розподілу газу по довжині газопроводу, то сумарний перепад тиску газу на ділянці обчислюється за формулою

$$\Delta P_s = \frac{A v^m \rho L}{2F^{2-m} D^{1+m}} \sum_{i=1}^n \frac{1}{n} \left(Q_m + i \frac{Q_{ш}}{n} \right)^{2-m}, \quad (3)$$

де n - кількість зосереджених відборів газу споживачами на ділянці.

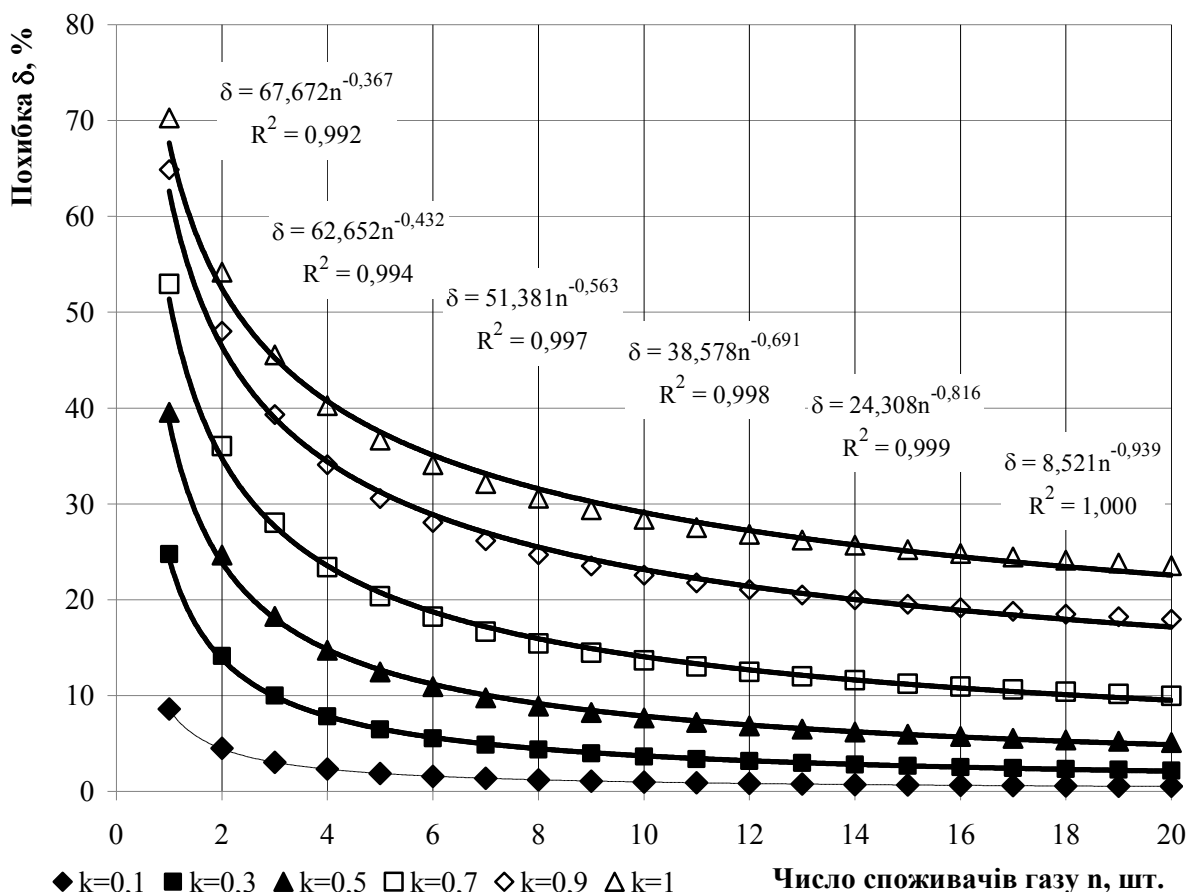


Рисунок 2 – Графічна залежність похибки обчислення розрахункової витрати газу від частки шляхової витрати k для турбулентного режиму, зона гідравлічно-гладких труб

Проведемо розрахунок похибки прогнозування величини перепаду тиску газу на ділянці газових мереж низького тиску за моделлю (2) відносно моделі (3). Для врахування співвідношення транзитної і шляхової витрати газу введемо поняття частки шляхової витрати від загальної витрати газу на вході в ділянку

$$k = \frac{Q_u}{Q_u + Q_m} \quad (4)$$

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

З формули (4) отримуємо значення транзитної витрати газу

$$Q_m = Q_u \left(\frac{1-k}{k} \right) \quad (5)$$

Похибку обчислення перепаду тиску газу на ділянці мереж низького тиску в разі застосування моделі рівномірного безперервного розподілу газу (1) відносно моделі зосередженого розподілу газу (2) знайдемо за формулою

$$\delta = \frac{\Delta P_3 - \Delta P_p}{\Delta P_3} \cdot 100\% \quad (6)$$

Підставивши в формулу (6) моделі (1) і (2), та з урахуванням залежності (5) отримаємо

$$\delta = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{1}{n} \left(\frac{1-k}{k} + \frac{i}{n} \right)^{2-m} - \left(\frac{1}{k} - 0,5 \right)^{2-m}}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{n} \left(\frac{1-k}{k} + \frac{i}{n} \right)^{2-m}} \cdot 100\% \quad (7)$$

Для аналізу вищенаведеної похибки (7) зобразимо на рисунку 2 її графічну залежність від числа споживачів газу на ділянці n та частки шляхової витрати k .

Проведене математичне моделювання кривих на рисунку 2 дало змогу отримати степеневі залежності величини неточності обчислення перепаду тиску газу (6) з високим ступенем вірогідності апроксимації за різних значень частки шляхової витрати газу k та кількості зосереджених відборів газу n :

$$k = 1,0 \quad \delta = 67,672n^{-0,367}; \quad (8)$$

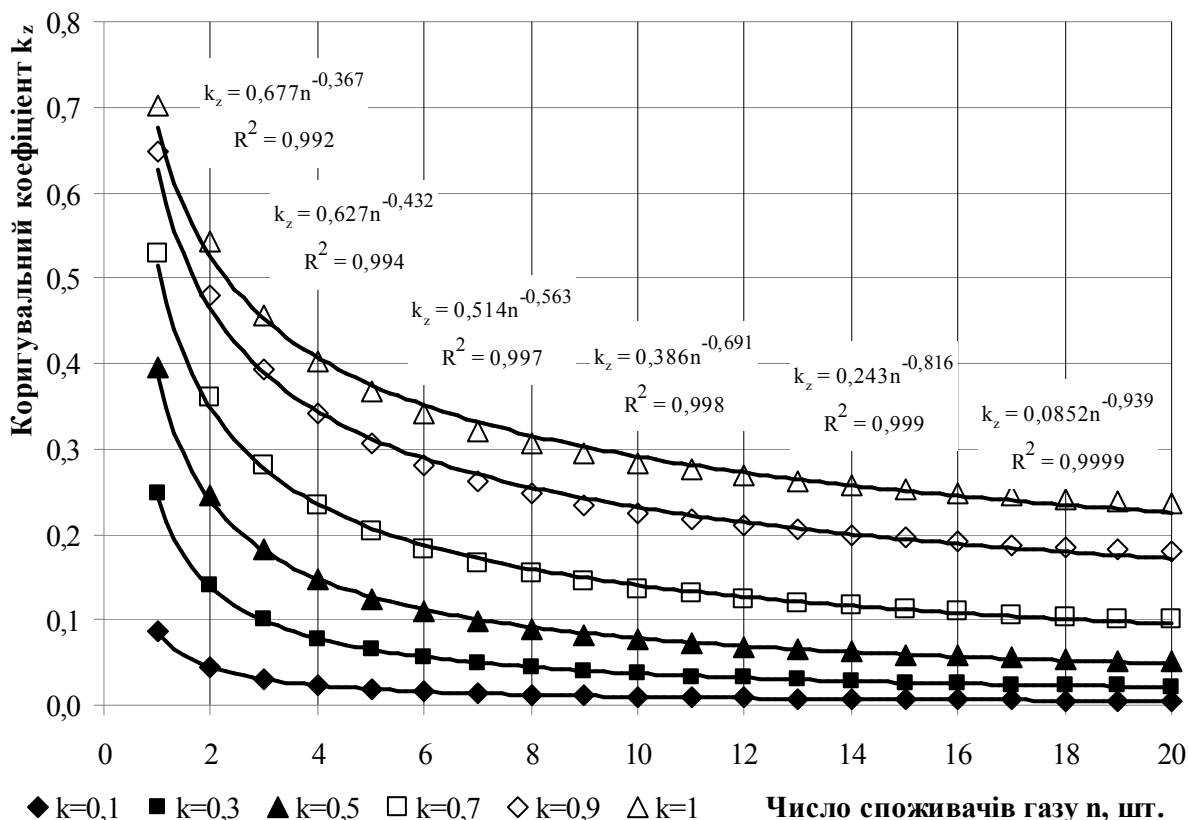
$$k = 0,9 \quad \delta = 62,652n^{-0,432}; \quad (9)$$

$$k = 0,7 \quad \delta = 51,381n^{-0,563}; \quad (10)$$

$$k = 0,5 \quad \delta = 38,578n^{-0,691}; \quad (11)$$

$$k = 0,3 \quad \delta = 24,308n^{-0,816}; \quad (12)$$

$$k = 0,1 \quad \delta = 8,521n^{-0,939} \quad (13)$$



Рисунк 3 – Графічна залежність коригувального коефіцієнта k_z від частки шляхової витрати k в випадку турбулентного режиму руху газу, зона гідравлічно-гладких труб

Як свідчать результати розрахунку, величина похибки (7) обчислення перепаду тиску газу на ділянці газових мереж за умови використання моделі рівномірного безперервного розподілу газу суттєво залежить від числа споживачів газу на ділянці n та частки шляхової витрати k . Так, за відсутності транзитної витрати газу на ділянці ($k=1$) та за мінімального числа споживачів газу ($n=1$) значення неточності є максимальним і складає 70 %. Зі збільшенням кількості споживачів газу величина похибки зменшується до 24 % за $n=20$. Зменшення частки шляхової витрати на ділянці також призводить до зменшення величини неточності обчислення перепаду тиску газу. При значенні $k=0,5$ і мінімальному числі споживачів $n=1$ похибка складає 40 %, і зменшується з зростанням кількості відборів газу (до 4 % за $n=20$). Отже, за використання моделі рівномірного безперервного розподілу газу найбільшою неточність буде на ділянках з малою кількістю споживачів газу та з значною часткою шляхової витрати. Така структура споживання газу зазвичай відповідає кінцевим ділянкам розподільних мереж.

Проведений аналіз структури систем газопостачання населених пунктів України дає підстави стверджувати, що для переважної більшості ділянок газових мереж низького тиску частка шляхової витрати становить від 0,2 до 1, а кількість відборів газу на типовій ділянці складає від 5 до 20. Це свідчить про те, що по-

хибка прогнозування перепадів тиску газу на ділянках коливатиметься в межах від 3 % до 37 %. Така суттєва неточність зумовлює необхідність розроблення методів нівелювання впливу вищезазначеної неточності на результати розрахунку проектних та експлуатаційних параметрів роботи систем газопостачання.

Для обчислення уточненого перепаду тиску газу запропоновано використання коригуючого коефіцієнта k_z , який дає змогу уточнити значення перепаду тиску на ділянці мереж, обчисленого за моделлю рівномірного безперервного розподілу газу (1)

$$\Delta P_3 = \frac{\Delta P_p}{1 - k_z} \quad (14)$$

Для аналізу отриманих результатів розрахунку на рисунку 3 зображено залежність коригувального коефіцієнта k_z від кількості зосереджених відборів на ділянці мережі n за різних значень частки шляхової витрати k .

Використовуючи Microsoft Excel, виконано математичне моделювання одержаних графічних залежностей методом найменших квадратів. Для практичного використання вибираємо степеневі моделі, які забезпечують необхідну точність прогнозування значень коефіцієнта k_z .

Для газопроводів, що працюють в режимі гідравлічно-гладких труб, аналітичні залежності значення коефіцієнта k_z від кількості споживачів на ділянці мережі n за різної величини частки шляхової витрати k мають такий вигляд:

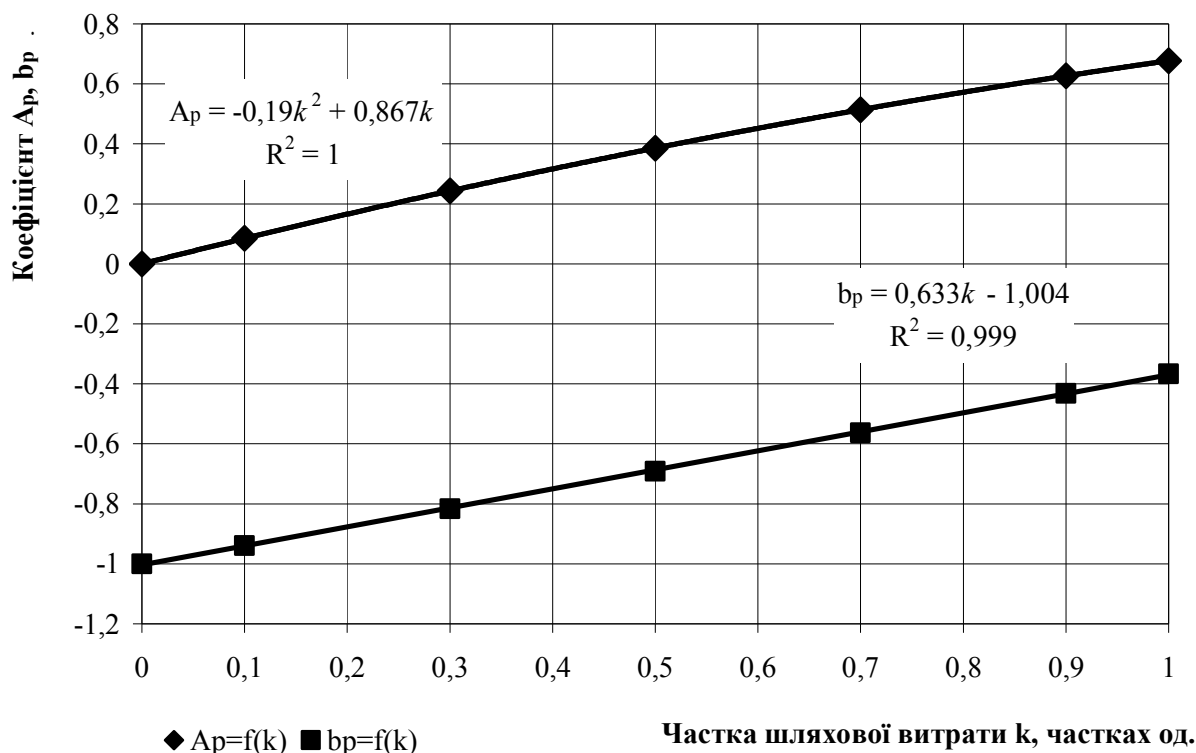


Рисунок 4 – Графічна залежність коефіцієнтів A_p та b_p від частки шляхової витрати газу k на ділянці газових мереж за режиму руху газу в зоні гідравлічно-гладких труб

- $k = 1 \quad k_z = 0,677n^{-0,367}; \quad (15)$
- $k = 0,9 \quad k_z = 0,627n^{-0,432}; \quad (16)$
- $k = 0,7 \quad k_z = 0,514n^{-0,563}; \quad (17)$
- $k = 0,5 \quad k_z = 0,386n^{-0,691}; \quad (18)$
- $k = 0,3 \quad k_z = 0,243n^{-0,816}; \quad (19)$
- $k = 0,1 \quad k_z = 0,0852n^{-0,939}. \quad (20)$

Отримані математичні моделі характеризуються високим ступенем достовірності апроксимації.

Опишемо залежності (15)-(20) за допомогою узагальненого виразу щодо кількості зосереджених відборів

$$k_z = A_p \cdot n^{b_p}, \quad (21)$$

де A_p, b_p – коефіцієнти, значення яких залежать від частки шляхової витрати газу на ділянці.

На рисунку 4 наведено графічну залежність коефіцієнтів A_p та b_p від частки шляхової витрати газу k на ділянці газових мереж. Виконавши математичне моделювання наведених кривих методом найменших квадратів, одержуємо такі залежності

$$A_p = -0,19k^2 + 0,867k, \quad (22)$$

$$b_p = 0,633k - 1,004. \quad (23)$$

Враховуючи результати математичного моделювання коефіцієнтів A_p та b_p , значення коефіцієнта k_z та уточненого перепаду тиску

газу на ділянці газових мереж низького тиску може бути визначене за формулою

$$k_z = (-0,19k^2 + 0,867k) \cdot n^{0,633k - 1,004}, \quad (24)$$

$$\Delta P_z = \frac{\Delta P_p}{1 - (-0,19k^2 + 0,867k) \cdot n^{0,633k - 1,004}}. \quad (25)$$

Отримана залежність дає змогу уточнити значення перепаду тиску газу на розподільних ділянках газових мереж населених пунктів, обчисленого з використанням моделі рівномірного безперервного відбору газу по довжині газопроводу.

Розглянемо задачу визначення величини рівномірної розрахункової витрати газу на ділянці мережі низького тиску, за якої перепад тиску газу відповідатиме моделі зосередженого відбору газу по довжині газопроводу.

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

$$Q_p = Q_m + \alpha \cdot Q_{uu}, \quad (26)$$

де α – коефіцієнт шляхової витрати, значення якого залежить від низки умов та параметрів роботи ділянки газових мереж.

Аналіз залежностей визначення перепаду тиску газу (2) і (3) дає підстави стверджувати, що величина розрахункової витрати газу може бути визначена за формулою

$$Q_p^{2-m} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{n} \left(Q_m + i \frac{Q_{uu}}{n} \right)^{2-m}. \quad (27)$$

З урахуванням формул (4), (6), запропонованої моделі (26) вираз (27) набуде вигляду

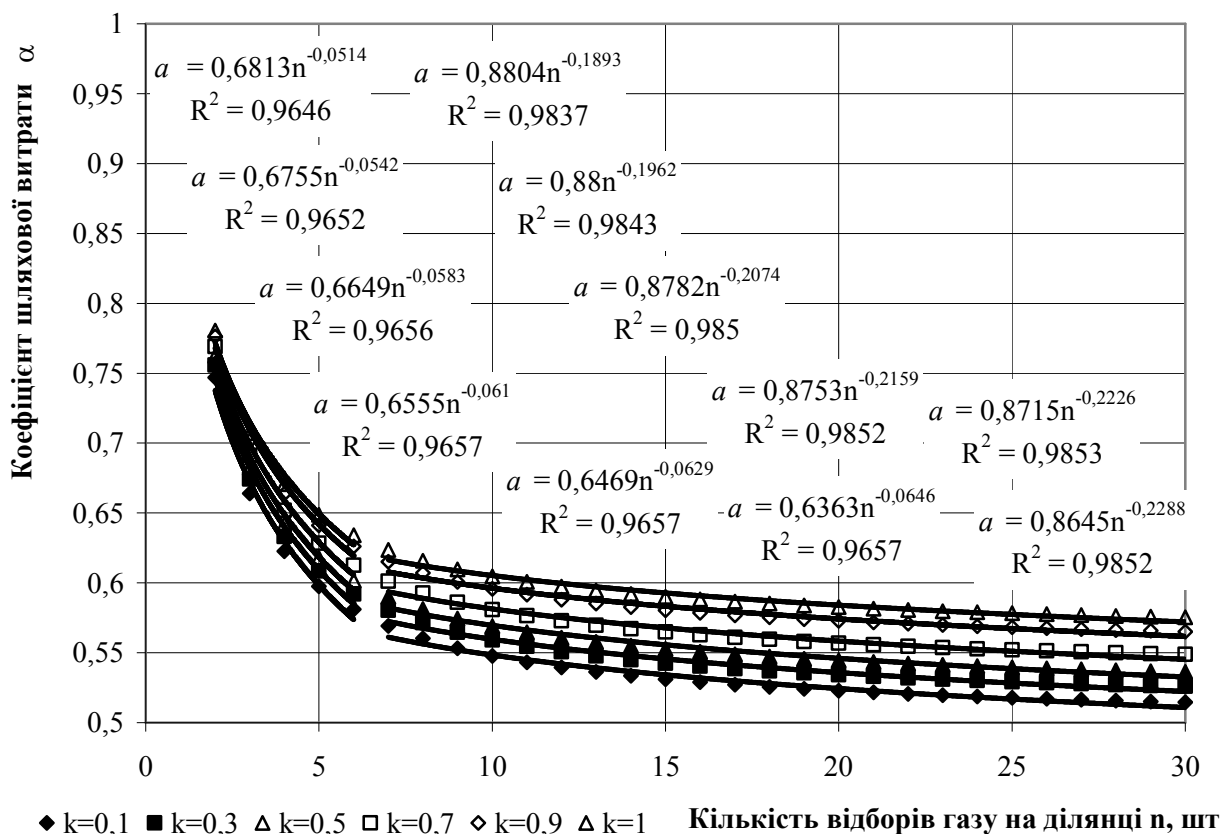


Рисунок 5 – Значення коефіцієнта шляхової витрати α в моделі (25) залежно від кількості зосереджених відборів газу n та частки шляхової витрати k

$$\left(\frac{1-k}{k} + \alpha\right)^{2-m} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{n} \left(\frac{1-k}{k} + \frac{i}{n}\right)^{2-m} \quad (28)$$

Шляхом комп'ютерного моделювання проведено комплекс розрахунків коефіцієнта α для різних значень частки шляхової витрати k та залежно від кількості зосереджених шляхових відборів газу n . Для наглядного аналізу отриманих результатів зобразимо їх графічно (рисунок 5).

Коефіцієнт шляхової витрати α в формулі (26) суттєво залежить від кількості зосереджених відборів газу n на ділянці та частки шляхової витрати газу k і коливається в межах від 0,78 до 0,52. Для достовірного моделювання наведених залежностей методом найменших квадратів діапазон кількості зосереджених відборів газу на ділянці поділено на дві частини:

- до 6 відборів включно;
- від 7 відборів і більше.

Результати математичного моделювання засвідчують, що наведені криві з високою достовірністю описуються степеневими залежностями. Опишемо наведені залежності на рисунку 4 у вигляді узагальненого виразу щодо частки шляхової витрати k . У загальному випадку коефіцієнт шляхової витрати α з високою точністю може бути описаний степеневою залежністю

$$\alpha = A_q \cdot n^{b_q}, \quad (29)$$

де A_q, b_q – коефіцієнти, значення яких залежать від частки шляхової витрати газу k на ділянці.

На рисунку 6 наведено графічну залежність коефіцієнтів A_q та b_q від частки шляхової витрати газу k на ділянці газових мереж низького тиску. Виконавши математичне моделювання наведених кривих методом найменших квадратів, одержуємо такі залежності:

- за кількості зосереджених відборів газу на ділянці до 6 шт включно

$$A_q = -0,0491k + 0,6314, \quad (30)$$

$$b_q = 0,0118k^2 + 0,0012k - 0,0646; \quad (31)$$

- за кількості зосереджених відборів газу на ділянці від 7 шт і більше

$$A_q = 0,8805k^{0,0081}, \quad (32)$$

$$b_q = 0,024k^2 + 0,0167k - 0,2304. \quad (33)$$

Враховуючи результати математичного моделювання коефіцієнтів A_q та b_q , значення коефіцієнта шляхової витрати α та величина розрахункової витрати газу на ділянці газових мереж низького тиску можуть бути визначені за формулами

- за кількості зосереджених відборів газу на ділянці до 6 шт включно:

$$\alpha = (0,0491k + 0,6314) \times n^{0,0118k^2 + 0,0012k - 0,0646}; \quad (34)$$

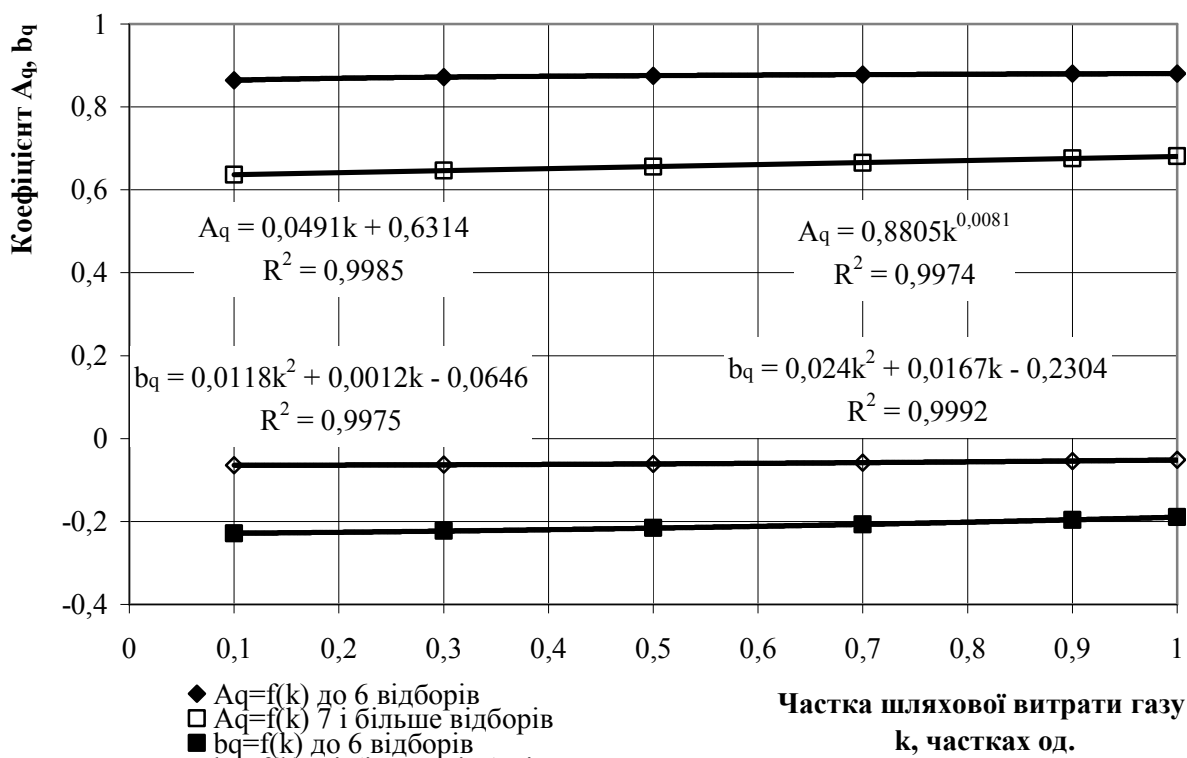


Рисунок 6 – Залежність параметрів A_q, b_q від частки шляхової витрати газу k на ділянці газових мереж низького тиску

$$Q_p = Q_m + Q_{ш} \cdot (0,0491k + 0,6314) \times n^{0,0118k^2 + 0,0012k - 0,0646} \quad (35)$$

- за кількості зосереджених відборів газу на ділянці від 7 шт і більше

$$\alpha = 0,8805k^{0,0081} \cdot n^{0,024k^2 + 0,0167k - 0,2304} \quad (36)$$

$$Q_p = Q_m + Q_{ш} \cdot 0,8805k^{0,0081} \times n^{0,024k^2 + 0,0167k - 0,2304} \quad (37)$$

Отримані залежності дають змогу визначити уточнене значення рівномірної розрахункової витрати газу на ділянці мережі низького тиску населеного пункту, за якої перепад тиску газу відповідатиме моделі зосередженого відбору газу по довжині газопроводу.

Апробація розробленої методики уточнення проектних та експлуатаційних параметрів роботи систем газопостачання проведена для конкретної селищної газорозподільної системи низького тиску. Отримані результати дають підстави стверджувати, 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.

Наукова новизна результатів дослідження полягає в отриманні залежностей та методів уточнення значень перепаду тиску та розрахункової витрати газу на ділянках газових мереж

низького тиску систем газопостачання населених пунктів за умови зосередженого відбору газу по довжині газопроводу.

Практична цінність отриманих результатів

Використання запропонованих підходів до визначення технологічних параметрів розподілу газу в системах газопостачання при проектних розрахунках ділянок мережі зменшує імовірність виникнення в майбутньому аварійних режимів їх роботи. Що стосується експлуатаційних розрахунків діючих систем газопостачання, використання запропонованих залежностей дає змогу з більшою достовірністю прогнозувати значення енергетичних параметрів роботи ділянок.

Висновки

Проведені дослідження засвідчили, що наявні на сьогодні методи прогнозування витрат газу в газових мережах низького тиску не точно описують наявні газодинамічні процеси, що призводить до недостовірності результатів проектних та експлуатаційних розрахунків.

Використання вищенаведеного методу врахування зосередженого відбору газу при проектних розрахунках 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 запропо-

нованих моделей дає змогу з більшою достовірністю прогнозувати параметри роботи ділянок мережі.

Вважаємо за доцільне увести корективи в державні та галузеві нормативні документи, щодо прогнозування величини перепаду тиску та розрахункової витрати газу на ділянках, передбачивши застосування одержаних результатів та підходів до проведення гідравлічних розрахунків.

Напрямок подальших досліджень є розроблення методів урахування впливу моделі зосередженого розподілу газу по довжині газопроводу на проектні та експлуатаційні параметри одноступеневих систем газопостачання середнього тиску з сталевих і поліетиленових труб.

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.

*Стаття надійшла до редакційної колегії
22.04.15*

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