

ВПЛИВ ЗОСЕРЕДЖЕНОГО РОЗПОДІЛУ ГАЗУ НА ЕНЕРГЕТИЧНІ ПАРАМЕТРИ РОБОТИ ДІЛЯНОК СИСТЕМ ГАЗОПОСТАЧАННЯ СЕРЕДЬОГО ТИСКУ

А. І. Ксенич

*Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу;
76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15;
тел. +380 (342) 72-72-39; e-mail: andriy.ksenyich@gmail.com*

Нормативні методи прогнозування розподілу газу в системах газопостачання середнього тиску з сталевих та поліетиленових труб не достовірно описують наявні газодинамічні процеси. Доведено, що за умови використання моделі рівномірного безперервного розподілу газу по довжині ділянки похибка обчислення енергетичного параметра A може досягати 74% залежно від технологічних параметрів роботи ділянки. Запропоновано уточнений метод розрахунку проектних та експлуатаційних параметрів роботи ділянок мереж середнього тиску з урахуванням моделі зосередженого відбору газу по довжині газопроводів.

Ключові слова: газові мережі населених пунктів, середній тиск, перепад тиску, гідравлічний розрахунок.

Актуальність теми. Історія газифікації України бере свій початок з 70-х років минулого століття. На даний час вже 78,1% жителів в містах та 38,2% в сільській місцевості користуються природним газом. Загалом газифіковано 428 міст, 600 селищ міського типу та 12,4 тисяч сіл. Здійснюється газопостачання 147 тис. промислових та комунально-побутових споживачів, а також біля 16 млн. квартир і приватних будинків. Забезпечення споживачів природним газом здійснюється газовими мережами, сумарна довжина яких становить 349,2 тис. км.

Газодинамічні процеси в газових мережах систем газопостачання суттєво відрізняються від магістральних газопроводів. Це пояснюється наявністю незначного надлишкового тиску, малими витратами та діаметрами, складною геометричною конфігурацією мереж, наявністю значної кількості шляхових відборів газу та використанням неметалевих труб. Також режим руху газу є зазвичай в зоні гідравлічно-гладких труб. Вищезазначене вносить певні особливості в процеси моделювання енергетичних та проектних параметрів роботи ділянок.

Основним нормативним документом, що на даний час регламентує проведення гідравлічних розрахунків систем газопостачання є ДБН В.2.5-20:2001 [1]. В ньому, для полегшення проведення практичних розрахунків, прийняті деякі припущення. Це певною мірою впливає на

їх достовірність. Тому актуальним питанням сьогодення є оцінка ступеня неточності, зумовленої наявністю вищезазначених припущень, а також розроблення уточнених методів, алгоритмів і програмного забезпечення для проведення уточнених гідравлічних розрахунків систем газопостачання.

Зокрема в газових мережах населених пунктів витрати газу споживачами приблизно однакові та розміщені на приблизно однакових відстанях. Тому в ДБН В.2.5-20:2001, при прогнозуванні розподілу газу, для спрощення гідравлічних розрахунків прийнята модель рівномірного і безперервного відбору газу по довжині газопроводу

$$Q_p = Q_m + 0,5Q_{ш}, \quad (1)$$

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.

На даний час основним методом газифікації сільських населених пунктів та невеликих містечок є прокладання одноступеневої системи газопостачання середнього тиску з використанням комбінованих будинкових регуляторів тиску газу. В таких мережах відбір газу споживачами проводиться зосереджено [2, 3]. Тому постає питання оцінювання величини похибки прогнозування проектних та експлуатаційних параметрів роботи ділянок систем газопостачання, при використанні моделі рівномірного та безперервного відбору газу, що рекомендована ДБН В.2.5-20:2001

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

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

Предмет дослідження – залежності питомих енергетичних втрат руху газу при зосередженому та рівномірному і безперервному розподілу газу в системах газопостачання.

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

Абсолютний тиск газу (МПа) в кінці ділянки середнього тиску систем газопостачання населених пунктів визначається за формулою [1, 3]

$$P_k = \sqrt{P_n^2 - A \cdot 1,1 \cdot l}, \quad (2)$$

де P_n – абсолютний тиск газу на початку ділянки газової мережі середнього тиску, МПа;

1,1 – коефіцієнт, який враховує додаткові втрати тиску у місцевих опорах;

l – довжина ділянки, м;

A – енергетичний параметр ($\text{МПа}^2/\text{м}$), що визначається за формулою

$$A = 1,4 \cdot 10^{-5} \cdot \left(\frac{k_e}{d} + 1922 \cdot \frac{v_n \cdot d}{Q} \right)^{0,25} \cdot \frac{Q^2 \cdot \rho_n}{d^5}, \quad (3)$$

де k_e – шорсткість внутрішньої поверхні газопроводу, см;

d – внутрішній діаметр трубопроводу, см;

v_n – кінематична в'язкість газу за нормальних умов, $\text{м}^2/\text{с}$;

ρ_n – густина газу за нормальних умов, $\text{кг}/\text{м}^3$;

Q – витрата газу на ділянці за нормальних умов, $\text{м}^3/\text{год}$.

Згідно ДБН В.2.5-20:2001 енергетичний параметр A для газових мереж середнього тиску обчислюється за формулою

$$A_p = 1,4 \cdot 10^{-5} \cdot \left(\frac{k_e}{d} + 1922 \cdot \frac{v_n \cdot d}{Q_p} \right)^{0,25} \cdot \frac{Q_p^2 \cdot \rho_n}{d^5}. \quad (4)$$

Що стосується моделі зосередженого розподілу газу по довжині газопроводу, то за умови, що всі шляхові відбори газу є однаковими і знаходяться на однаковій відстані між собою, енергетичний параметр A на ділянці середнього тиску обчислюється за формулою

$$A_3 = \frac{1,4 \cdot 10^{-5}}{n} \sum_{i=1}^n \left[\left(\frac{k_e}{d} + 1922 \cdot \frac{v_n \cdot d}{Q_m + \frac{Q_{ui} \cdot i}{n}} \right)^{0,25} \frac{\left(Q_m + \frac{Q_{ui} \cdot i}{n} \right)^2 \cdot \rho_n}{d^5} \right], \quad (5)$$

де n – кількість зосереджених відборів газу споживачами на ділянці, шт.

Відмінність значень параметра A на ділянці мереж середнього тиску в разі застосування моделі рівномірного безперервного розподілу газу (1) відносно моделі зосередженого розподілу газу знаходиться за формулою

$$\delta = \frac{A_3 - A_p}{A_3} \cdot 100\%. \quad (6)$$

Аналіз залежностей (4) та (5) дає можливість стверджувати, що величина похибки (6) залежатиме від кількості шляхових відборів газу n на ділянці, та від співвідношення величин шляхової і транзитної витрати газу.

Для врахування співвідношення транзитної і шляхової витрати газу застосуємо поняття частки шляхової витрати від загальної витрати газу на вході в ділянку[2]

$$k = \frac{Q_{ш}}{Q_{ш} + Q_m} \quad (7)$$

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, а модель зосередженого розподілу газу не може бути використана, в силу відсутності зосереджених споживачів. Якщо ділянка є тупиковою, на ній присутня тільки шляхова витрата газу, а отже $k=1$.

Шляхом комп'ютерного моделювання проведено ряд розрахунків та отримано графічну залежність похибки обчислення енергетичного параметра A від кількості зосереджених відборів газу на ділянці середнього тиску для різних значень частки шляхової витрати k (рис. 1).

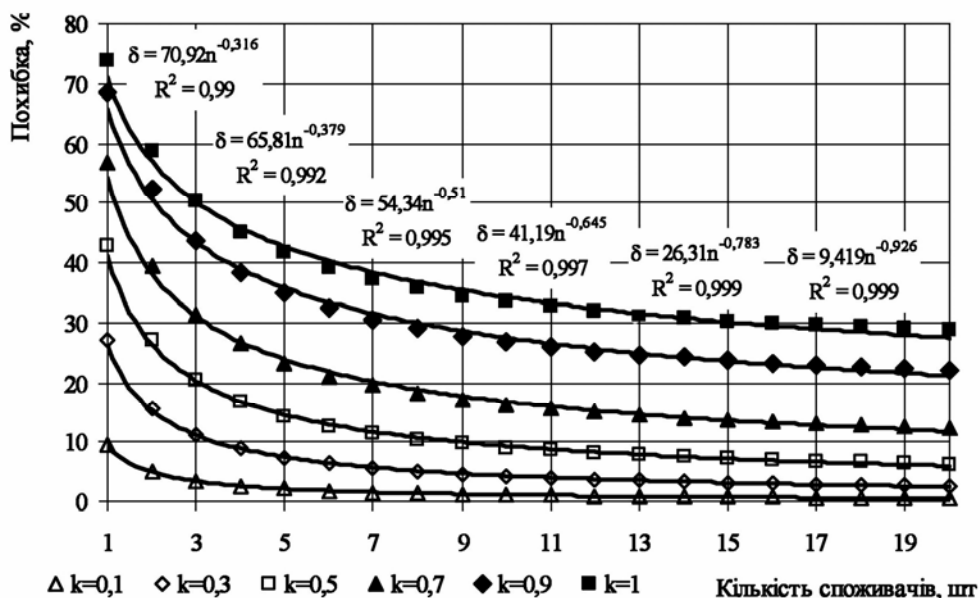


Рис. 1. Графічна залежність похибки обчислення енергетичного параметра A за нормативною моделлю від кількості зосереджених відборів газу на ділянці середнього тиску для різних часток шляхової витрати k

Проведене математичне моделювання кривих на рис. 1 дало змогу отримати степеневі залежності величини неточності обчислення енергетичного параметру A_p з високим ступенем вірогідності апроксимації за різних значень частки шляхової витрати газу k та кількості зосереджених відборів газу n :

$$k = 1,0 \quad \delta = 70,92n^{-0,316}; \quad (8)$$

$$k = 0,9 \quad \delta = 65,81n^{-0,379}; \quad (9)$$

$$k = 0,7 \quad \delta = 54,34n^{-0,510}; \quad (10)$$

$$k = 0,5 \quad \delta = 41,19n^{-0,645}; \quad (11)$$

$$k = 0,3 \quad \delta = 26,31n^{-0,783}; \quad (12)$$

$$k = 0,1 \quad \delta = 9,419n^{-0,926}. \quad (13)$$

Як свідчать результати розрахунку величина похибки (6) обчислення енергетичного параметру A_p 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 74%. З зростанням числа споживачів газу величина похибки зменшується до 29% за $n=20$. Зменшення частки шляхової витрати на ділянці також призводить до зменшення величини неточності. При значенні $k=0,5$ і мінімальному числі споживачів $n=1$ похибка складає 42%, і зменшується з зростанням кількості відборів газу (до 8% за $n=20$). Відповідно найбільші значення неточності прогнозування енергетичного параметра A_p припадають на ділянки з малою кількістю споживачів газу та значною часткою шляхової витрати. Така структура споживання газу зазвичай присутня на кінцевих ділянках розподільних мереж середнього тиску.

У структурі систем газопостачання населених пунктів України переважна більшість ділянок газових мереж низького тиску працюють з часткою шляхової витрати в межах від 0,2 до 1, а кількість відборів газу на типовій ділянці складає від 5 до 20 шт. Це свідчить про те, що похибка прогнозування перепадів тиску газу на ділянках коливатиметься в межах від 3% до 29%. Така суттєва відмінність прогнозування енергетичних параметрів зумовлює необхідність розроблення уточнених методів розрахунку ділянок систем газопостачання середнього тиску з урахуванням зосередженого розподілу газу.

Одним з методів обчислення уточненого параметру A_3 , що враховує модель зосередженого розподілу газу, є використання коригуючого коефіцієнта k_3

$$A_3 = \frac{A_p}{1 - k_3}. \quad (14)$$

Шляхом комп'ютерного моделювання проведено ряд розрахунків, які засвідчили, що залежність коефіцієнта k_3 з високою точністю може бути описано степеневою залежністю

$$k_3 = a_3 \cdot n^{b_3}, \quad (15)$$

де a_3 , b_3 – коефіцієнти, значення яких від частки шляхової витрати газу наведені на рис. 2.

За результатами математичного моделювання кривих на рис. 2 отримано високоточні поліноміальні залежності коефіцієнтів a_3 та b_3

$$a_3 = -0,2296k^2 + 0,937k, \quad (16)$$

$$b_3 = -0,052k^2 + 0,736k - 1. \quad (17)$$

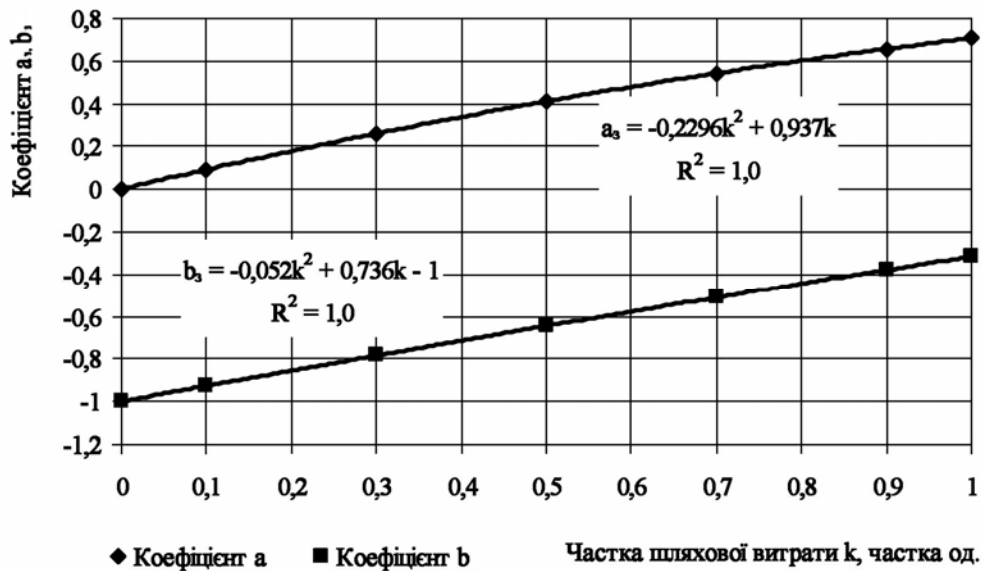


Рис. 2. Графічна залежність коефіцієнтів a_3 та b_3 від частки шляхової витрати k

Таким чином проведені дослідження засвідчили, що енергетичний параметр A_3 , який враховує зосереджений розподіл газу по довжині ділянок газових мереж середнього тиску, може бути обчислений за формулою

$$A_3 = \frac{A_p}{1 - (-0,2296k^2 + 0,937k) \cdot n^{-0,052k^2 + 0,736k - 1}}. \quad (18)$$

Отримана залежність (18) дає змогу визначити уточнене значення енергетичного параметру A_3 на ділянці мережі середнього тиску населеного пункту, за якої величина перепаду тиску газу відповідатиме моделі зосередженого відбору газу по довжині газопроводу.

Висновки. Проведена апробація розробленого методу на конкретній селищній газорозподільній системі середнього тиску довела, що використання запропонованих підходів визначення фактичних енергетичних параметрів розподілу газу в системах газопостачання при проектних розрахунках, зменшує імовірність виникнення в майбутньому аварійних режимів їх роботи. Що стосується експлуатаційних розра-

хунків діючих систем газопостачання, то застосування отриманих залежностей дає змогу з більшою достовірністю прогнозувати енергетичні параметри роботи мережі.

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. Ионин А.А. Газоснабжение / А.А. Ионин. – М.: Стройиздат, 1989. – 441 с.
3. Гончарук М.І. Довідник з газопостачання населених пунктів України / М.І. Гончарук, М.Д. Середюк, В.І. Шелудченко. – Івано-Франківськ: Сімик, 2006. – 1314 с.

*Стаття надійшла до редакційної колегії 11.05.2015 р.
Рекомендовано до друку д.т.н., професором Грудзом В.Я.,
к.т.н. Степ'юком М.Д.*

THE EFFECT OF FOCUSED GAS DISTRIBUTION ON THE WORK ENERGY PARAMETERS OF THE MIDDLE-PRESSURE GAS DISTRIBUTION SYSTEMS

A. I. Ksenych

*Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas;
76019, Ivano-Frankivsk, Karpatska str., 15;
ph. +380 (342) 72-71-39; e-mail: andriy.ksenych@gmail.com*

The normative forecasting methods of gas distribution in the middle-pressure gas supply networks, made of steel and polyethylene pipes, do not describe existent gas-dynamic processes correctly. It is proved that the error of energy parameter A calculations using the model of even continuous gas distribution along the pipeline is up to 74% depending on the pipeline operational parameters. In this paper a revised method for calculating the design and operating parameters of segments of the middle-pressure gas distribution networks is presented taking into account a model of focused gas extraction along the pipeline.

Key words: *gas supply system of settlements, middle pressure, pressure drop, hydraulic calculation.*