

ОСОБЛИВОСТІ ГІДРАВЛІЧНОГО РОЗРАХУНКУ ПОЛІЕТИЛЕНОВИХ ГАЗОВИХ МЕРЕЖ ІЗ УРАХУВАННЯМ ЇХ ЕНЕРГОВИТРАТНОСТІ

А.І. Ксенич, М.Д. Середюк, І.І. Височанський

ІФНТУНГ, 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (03422) 42166,
e-mail: tzn g @ n u n g . e d u . u a

Запропоновано метод коригування проектних параметрів поліетиленових газопроводів низького та середнього тиску з урахуванням їх фактичної енерговитратності за результатами експериментів. 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 пропускної здатності системи. Шляхом комп'ютерного моделювання досліджено можливі зміни проектних параметрів поліетиленових газопроводів для всього сортаменту труб за різного завантаження газових мереж. Результати оформлено у вигляді графічних та аналітичних залежностей частки довжини поліетиленової труби із найближчим меншим стандартним внутрішнім діаметром від гідравлічного нахилу для різних стандартних діаметрів труб. Очікуваний економічний ефект від використання запропонованого методу в середньому становить: для газових мереж низького тиску – 280 грн., для одноступеневих систем газопостачання середнього тиску – 520 грн на кожні 100 м газових мереж.

Ключові слова: газові мережі населених пунктів, низький тиск, середній тиск, поліетиленові труби, гідравлічний розрахунок.

Предложен метод коррекции проектных параметров полиэтиленовых газопроводов низкого и среднего давления с учетом фактических затрат энергии по результатам экспериментов. Метод позволяет осуществлять последовательную укладку труб разного диаметра - части участка из труб с проектным внутренним диаметром, остальной части - из труб с ближайшим меньшим стандартным диаметром при условии обеспечения необходимой пропускной способности системы. С помощью математического моделирования исследованы возможные изменения проектных параметров полиэтиленовых газопроводов для всего сортамента труб при различной загрузке газовых сетей. Результаты оформлены в виде графических и аналитических зависимостей части длины полиэтиленовой трубы с ближайшим меньшим стандартным диаметром от гидравлического уклона для различных стандартных диаметров труб. Ожидаемый экономический эффект от использования предложенного метода в среднем составляет: для газовых сетей низкого давления – 280 грн., для одноступенчатых систем газоснабжения среднего давления – 520 грн на каждые 100 м газовых сетей.

Ключевые слова: газовые сети населенных пунктов, низкое давление, среднее давление, полиэтиленовые трубы, гидравлический расчет.

It is presented the method of the project parameters adjusting of polyethylene low and medium pressure gas pipelines taking into account their actual energy consumption on the basis of the experiments results. The method is based on the possibility of successive laying of different diameters pipes, namely, pipes with the project inner diameter and pipes with the nearest smaller standard diameter on condition of the full throughput preserving of the system. The possible changes in the project parameters of the polyethylene gas pipelines for the whole range of pipes under the different gas networks loading are investigated by means of computer modeling. The results are presented in graphical and analytical dependences of the quotient of the polyethylene pipe length with the nearest smaller standard inner diameter on the hydraulic tilt for the different standard pipes diameters. The expected economic effect of the presented method is on average for the low pressure gas networks 280 грн., for the single-level medium pressure gas supply systems – 520 грн. per 100m of gas networks.

Keywords: gas networks of settlements, low pressure, medium pressure, polyethylene pipelines, hydraulic calculation.

Технологічне проектування та експлуатація систем газопостачання населених пунктів вимагають надійного прогнозування пропускної здатності та енерговитратності газових мереж високого, середнього та низького тиску. Враховуючи сучасні тенденції до ускладнення структури газових мереж, широкого використання поліетиленових газопроводів та погіршення умов прокладання газопроводів, забезпечення достовірних результатів гідравлічних розрахунків є актуальним питанням.

Методики гідравлічного розрахунку газових мереж, які рекомендовані чинними нормативними документами [1], базуються на низ-

ці припущень, основними з яких є: фізичні властивості газу беруться за нормальних умов, витрата газу зводиться до нормальних умов, температура газу приймається рівною 0°C, 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 пропускної здатності та енерговитратності газових мереж, що здорожує проекти газифікації населених пунктів, ускладнює експлуатацію системи газопостачання, а в деяких

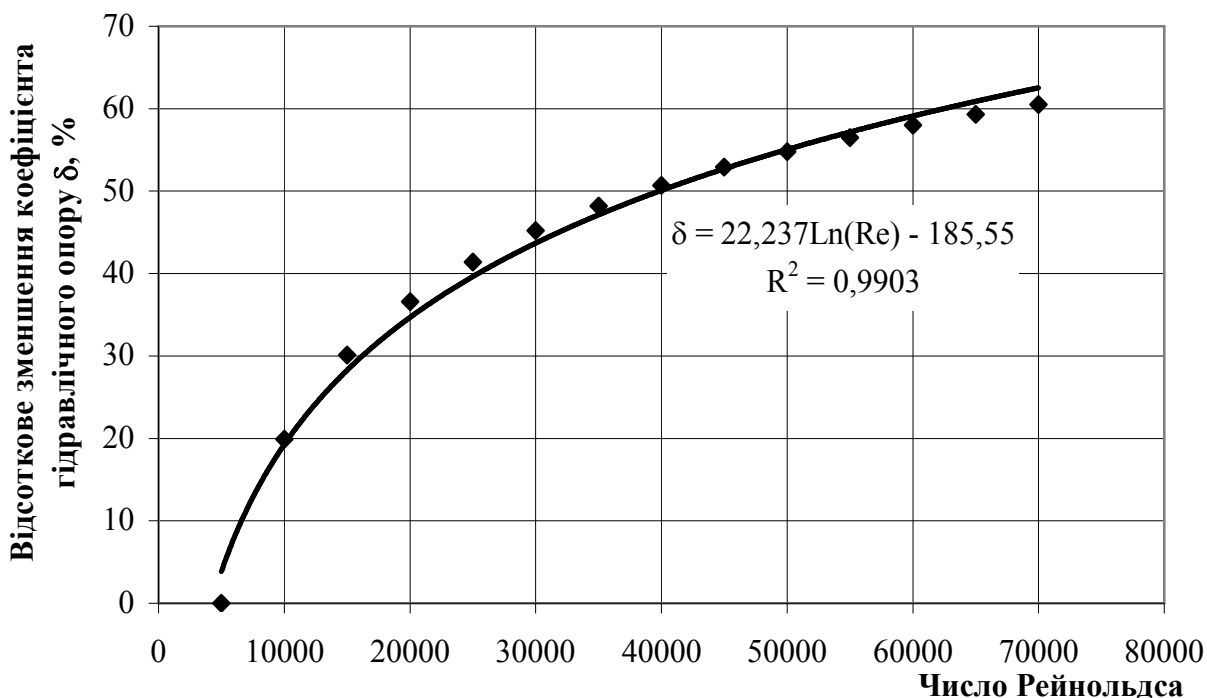


Рисунок 1 – Залежність відносного зменшення коефіцієнта гідравлічного опору поліетиленового газопроводу низького тиску від числа Рейнольдса для турбулентного режиму в зоні гідравлічно гладких труб

випадках може призвести до виникнення аварійних ситуацій.

У роботах [2, 3] нами 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 нами запропоновані математичні моделі для коефіцієнта гідравлічного опору поліетиленових газових мереж низького і середнього тиску для різних режимів руху у повному діапазоні зміни витрат газу. Для практичного використання одержані математичні моделі доцільно закласти в уточнені методики гідравлічного розрахунку газових мереж. Це дасть можливість підвищити якість виконання проектних та експлуатаційних розрахунків систем газопостачання населених пунктів.

При проектуванні системи газопостачання населеного пункту, а також при реконструкції та ремонті виникає необхідність визначати необхідні діаметри ділянок газових мереж. Від правильного вибору діаметрів газопроводів залежить ефективність та економічність системи розподілу газу, а також витрати на її реалізацію.

Виконані нами теоретичні та експериментальні дослідження засвідчили, що методами розрахунку, розробленими для сталевих газових мереж, неможливо адекватно спрогнозувати пропускну здатність та гідравлічну енерговитратність поліетиленових газових мереж. У

результаті виявлення особливостей газодинамічних процесів в поліетиленових газопроводах нами одержані формули для коефіцієнта гідравлічного опору при різних режимах руху газу. Використання зазначених залежностей дає змогу науково обґрунтувати вибір необхідних діаметрів поліетиленових газопроводів.

Порівняємо між собою значення коефіцієнта гідравлічного опору поліетиленових газових мереж низького тиску, знайдені за методикою, яка рекомендована чинним нормативним документом [1], та обчислені за одержаною нами формулою [4]). Порівняння проведемо для діапазону зміни чисел Рейнольдса в газових мережах населеного пункту від 5000 до 70000. Відносне зменшення коефіцієнта гідравлічного опору поліетиленового газопроводу низького тиску δ_λ у відсотках залежно від числа Рейнольдса можна подати у вигляді графіка (рис. 1). Математична обробка за допомогою Microsoft Excel показала, що дана графічна залежність з достовірністю 99 % може бути описана такою логарифмічною функцією

$$\delta_\lambda = 185,55 - 22,237 \cdot \ln Re . \quad (1)$$

Формула (1) дає змогу прогнозувати відносне зменшення коефіцієнта гідравлічного опору поліетиленового газопроводу низького тиску (порівняно зі значенням за нормативною методикою) за умови сталого числа Рейнольдса для турбулентного режиму в зоні гідравлічно гладких труб.

Однак на практиці зазначений критерій завантаження ділянки газової мережі практично не використовується. Ступінь завантаження ділянки газової мережі низького тиску характе-

ризується енергетичним параметром - гідравлічним нахилом.

$$I = \frac{\Delta P}{l}, \quad (2)$$

де: ΔP – втрати тиску від тертя на ділянці газової мережі;

l – геометрична довжина ділянки.

Визначимо, на скільки можуть бути змінені проектні параметри ділянки поліетиленової газової мережі низького тиску, якщо замість нормативної методики застосовувати одержані нами залежності. За умову порівняння варіантів вибираємо рівність значення гідравлічного нахилу.

За нормативною методикою у разі турбулентному режиму руху газу гідравлічний нахил так пов'язаний із необхідним внутрішнім діаметром ділянки газопроводу низького тиску D_1 :

$$I = 69 \left(\frac{k_e}{D_1} + 1922 \frac{v_n D_1}{Q_n} \right)^{0,25} \frac{\rho_n Q_n^2}{D_1^5}, \quad (3)$$

де: k_e – абсолютна еквівалентна шорсткість внутрішньої поверхні поліетиленових труб, $k_e = 0,01$ см [1];

v_n, ρ_n – кінематична в'язкість і густина газу за нормальних умов;

Q_n – витрата газу за нормальних умов.

У зв'язку із тим, що фактична гідравлічна енерговитратність поліетиленових труб менша за нормативну, той самий гідравлічний нахил буде забезпечений при меншому значенні внутрішнього діаметра ділянки D_k .

За методикою, що пропонується, гідравлічний нахил може бути виражений через внутрішній діаметр D_k

$$I = \beta_T \frac{Q^{2-m} v^m}{D_k^{5-m}}, \quad (4)$$

де: β_T – комплекс величин, значення якого залежить від режиму руху газу;

$$\beta_T = \frac{8A\rho}{4^m \pi^{2-m}}, \quad (5)$$

Q – витрата газу на ділянці за умов газових мереж;

ρ – густина газу на ділянці за умов газових мереж;

A, m – коефіцієнти режиму руху в узагальненій моделі Лейбензона для коефіцієнта гідравлічного опору.

Із одержаної нами формули для коефіцієнта гідравлічного опору [4] маємо

$$A = 4,21; \quad m = 0,552.$$

Спільне розв'язання системи рівнянь (3) і (4) дає змогу для кожного стандартного значення внутрішнього діаметра поліетиленового газопроводу низького тиску D_1 визначити витрату газу та скориговане значення внутрішнього діаметра D_k , які відповідають заданому значенню гідравлічного нахилу.

У газопостачанні населених пунктів України використовується сортамент поліетиленових труб низького тиску, для яких зовнішні діаметри, товщина стінки, а, отже, і внутрішні діаметри відповідають ДБН В.2.5-41:2009. Скориговане значення внутрішнього діаметра труби D_k зазвичай не співпадає зі стандартним. Тому для забезпечення певного значення гідравлічного нахилу можна передбачити укладання послідовно труб різного діаметра – частину із труб з базовим внутрішнім діаметром D_1 , решту – із труб з найближчим меншим стандартним значенням внутрішнього діаметра $D_2 < D_k$.

Із рівняння балансу енергії маємо

$$\frac{l}{D_k^{5-m}} = \frac{l-x}{D_1^{5-m}} + \frac{x}{D_2^{5-m}}, \quad (6)$$

де: l – довжина ділянки поліетиленового газопроводу;

x – довжина труби з найближчим меншим до базового стандартним значенням внутрішнього діаметра.

Уведемо поняття відносної довжини поліетиленової труби із найближчим меншим стандартним внутрішнім діаметром

$$\delta_l = \frac{x}{l}. \quad (7)$$

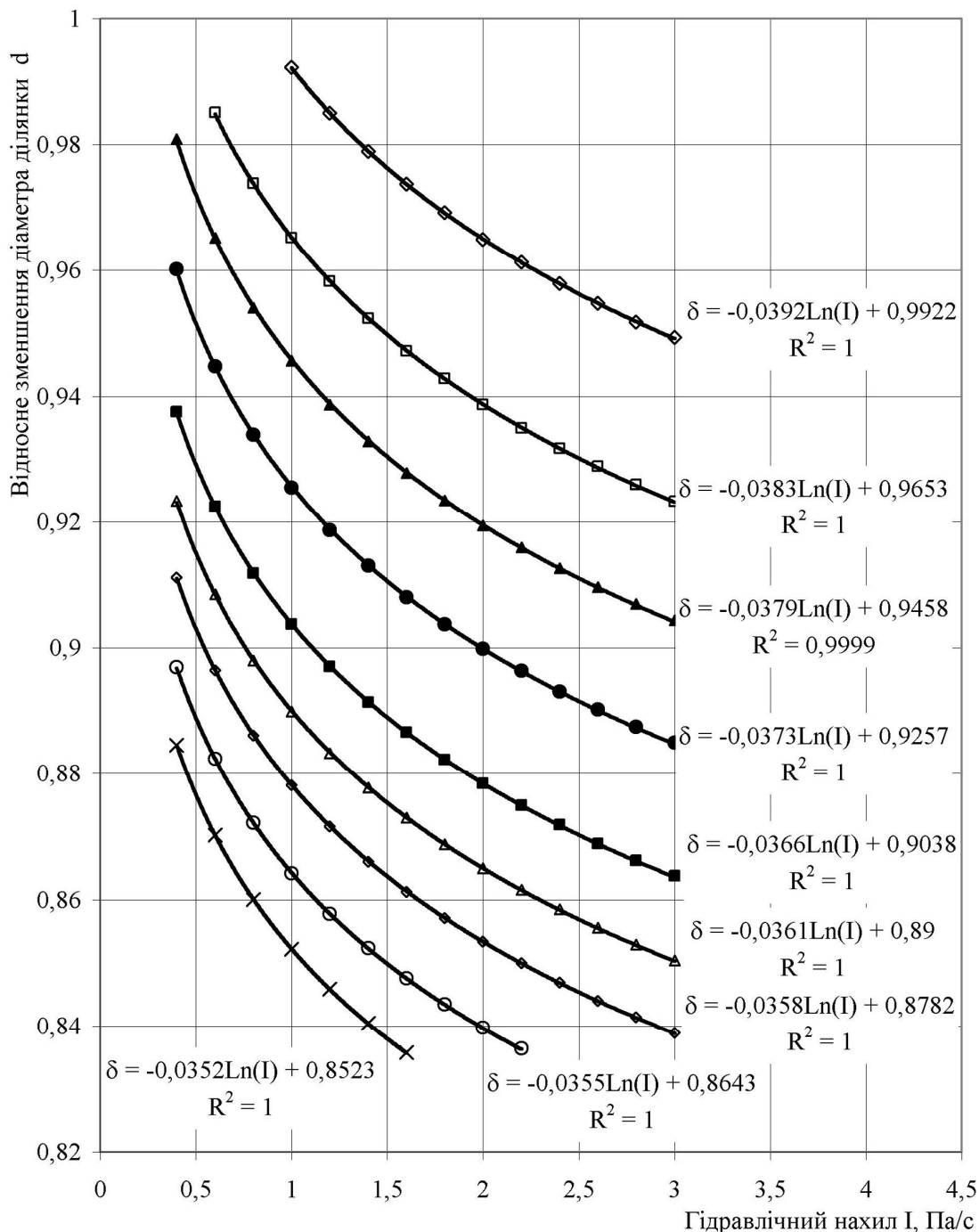
У результаті спільного розв'язування рівняння (6) і (7) одержуємо формулу для визначення відносної довжини ділянки δ_l

$$\delta_l = \frac{(D_1^{5-m} - D_k^{5-m})}{(D_1^{5-m} - D_2^{5-m})} \cdot \left(\frac{D_2}{D_k} \right)^{5-m}. \quad (8)$$

Описана вище методика розрахунку реалізована в комп'ютерній програмі KORN, яка написана на мові програмування Visual Basic в середовищі Microsoft Excel. За допомогою зазначеної програми виконані дослідження можливих змін проектних параметрів поліетиленових газопроводів низького тиску з урахуванням їх фактичної гідравлічної енерговитратності. Розглянутий набір базових стандартних зовнішніх діаметрів від 50 мм до 160 мм. Дослідження проведені для різного завантаження газових мереж низького тиску у діапазоні гідравлічних нахилів від 0,4 Па/м до 3 Па/м.

На рисунку 2 наведено графічні залежності відносного зменшення внутрішнього діаметра поліетиленового газопроводу низького тиску від гідравлічного нахилу, а також результати їх математичного моделювання.

Результати досліджень оформляємо також у вигляді графічних залежностей частки довжини поліетиленової труби низького тиску із найближчим меншим стандартним внутрішнім діаметром від гідравлічного нахилу для різних базових внутрішніх діаметрів труб (рис. 3). Використовуючи Microsoft Excel, виконуємо математичне моделювання одержаних графічних залежностей. У результаті отримуємо, що з достовірністю апроксимації 99 % графічні залеж-



◇ 50x2,9 □ 63x3,6 ▲ 75x4,3 ● 90x5,2 ■ 110x6,3 △ 125x7,1 ◊ 140x8 ○ 160x9,1 × 180x10,3

Рисунок 2 – Залежність відносного зменшення необхідного внутрішнього діаметра поліетиленового газопроводу низького тиску від гідравлічного нахилу

ності можна описати такими логарифмічними функціями:

для діаметра 125x7,1 мм за умови $0,4 < I < 1,3$

$$\delta_l = 0,3714 \cdot \text{Ln}(I) + 0,883; \quad (9)$$

для діаметра 110x6,3 мм за умови $0,4 < I < 3$

$$\delta_l = 0,2026 \cdot \text{Ln}(I) + 0,399; \quad (10)$$

для діаметра 90x5,2 мм за умови $0,4 < I < 3$

$$\delta_l = 0,2123 \cdot \text{Ln}(I) + 0,339; \quad (11)$$

для діаметра 75x4,3 мм за умови $0,4 < I < 3$

$$\delta_l = 0,2039 \cdot \text{Ln}(I) + 0,250; \quad (12)$$

для діаметра 63x3,6 мм за умови $0,6 < I < 3$

$$\delta_l = 0,1231 \cdot \text{Ln}(I) + 0,096; \quad (13)$$

для діаметра 50x2,9 мм за умови $1 < I < 3$

$$\delta_l = 0,0714 \cdot \text{Ln}(I) + 0,011. \quad (14)$$

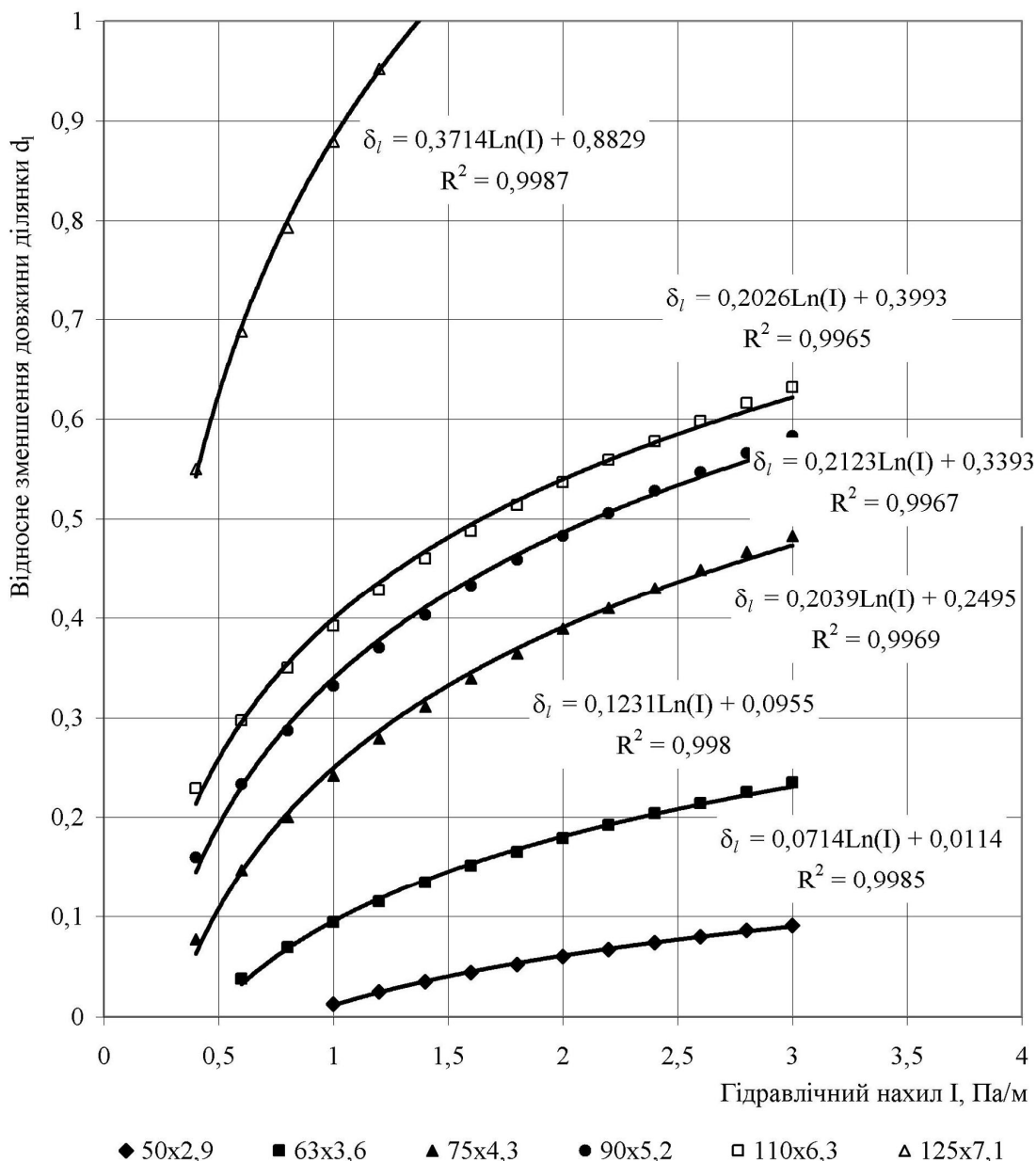


Рисунок 3 – Залежність частки довжини поліетиленової труби низького тиску із найближчим меншим стандартним діаметром від гідравлічного нахилу для різних базових внутрішніх діаметрів труб

Результати досліджень засвідчили, що за певних умов за рахунок зменшення гідравлічного опору можна частково передбачити укладання не найближчого, а наступного меншого стандартного значення внутрішнього діаметра поліетиленового газопроводу низького тиску.

Формули (9)-(14) дають можливість скоригувати у менший бік проектні діаметри ділянок газових мереж систем газопостачання населених пунктів. Зменшення діаметрів призводить до зменшення вартості будівництва газових мереж. Для виконання техніко-економічних розрахунків опишемо у вигляді графіків вартість одного метра поліетиленової труби низького і середнього тиску як функцію внутрішнього діаметра (рисунок 4).

Використовуючи Microsoft Excel, виконуємо математичне моделювання графічної залеж-

ності. У результаті отримуємо, що з достовірністю апроксимації 99% залежність вартості 1 м поліетиленової труби низького і середнього тиску від її внутрішнього діаметра можна описати такою поліноміальною функцією:

$$S = -0,733 + 0,860D + 0,786D^2 + 0,00142D^3, \text{ грн./м.} \quad (15)$$

В останні роки при газифікації сільських населених пунктів почали широко використовувати одноступеневі системи розподілу газу, що складаються із складної системи поліетиленових газопроводів середнього тиску. Для безпосереднього подавання газу низького тиску побутовим споживачам у таких системах використовуються комбіновані будинкові регулятори тиску. Розрахункові витрати газу у таких системах розподілу відносно невеликі, тому

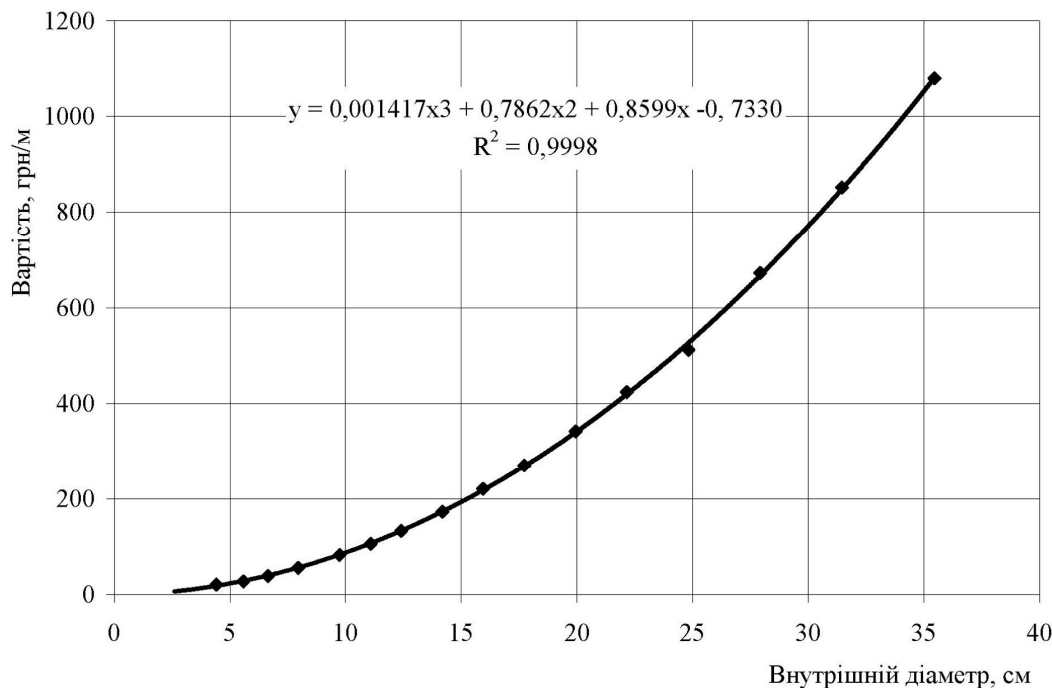


Рисунок 4 – Залежність вартості одного метра поліетиленової труби низького і середнього тиску від внутрішнього діаметра

числа Рейнольдса для ділянок зазвичай не перевищують 60000-70000.

За зазначених умов для оцінювання гідравлічної енерговитратності поліетиленового газопроводу середнього тиску можна застосовувати формулу для коефіцієнта гідравлічного опору, наведену у роботі [4].

На відміну від газових мереж низького тиску, величина завантаження ділянки мережі середнього тиску характеризується енергетичним параметром A

$$A = \frac{P_1^2 - P_2^2}{l}, \tag{16}$$

де P_1, P_2 – абсолютний тиск газу на початку і у кінці ділянки газової мережі відповідно.

Визначимо, на скільки можуть бути змінені проектні параметри ділянки поліетиленової газової мережі середнього тиску, якщо замість нормативної методики розрахунку застосовувати одержані нами залежності для коефіцієнта гідравлічного опору. За критерій порівняння варіантів вибираємо рівність значення параметра A .

За нормативною методикою у разі турбулентного режиму руху газу гідравлічний нахил так пов'язаний із необхідним внутрішнім діаметром ділянки газопроводу середнього низького тиску D_1 [1]

$$\frac{P_1^2 - P_2^2}{l} = 1,54 \cdot 10^{-5} \left(\frac{k_e}{D_1} + 1922 \frac{v_n D_1}{Q_n} \right)^{0,25} \frac{\rho_n Q_n^2}{D_1^5}. \tag{17}$$

У зв'язку із тим, що фактична гідравлічна енерговитратність поліетиленових труб менша за нормативну, таке ж значення параметра A буде забезпечене за меншого значення внутрішнього діаметра ділянки D_k .

За методикою розрахунку, що пропонується, параметр A може бути так виражений через внутрішній діаметр поліетиленової труби середнього тиску D_k :

$$Q = 0,03585 D_k^{2,5} \sqrt{\frac{(P_1^2 - P_2^2)}{\lambda z \Delta T l}}, \tag{18}$$

де: z – коефіцієнт стисливості газу;
 Δ – відносна густина газу за повітрям;
 T – середня температура газу на ділянці.

Спільне розв'язання системи рівнянь (17) і (18) дає змогу для кожного стандартного значення внутрішнього діаметра поліетиленового газопроводу середнього тиску D_1 визначити витрату газу та скориговане значення внутрішнього діаметра D_k , які відповідають певному значенню параметра A .

Згідно з ДБН В.2.5-41:2009 сортамент поліетиленових труб середнього тиску співпадає із сортаментом труб низького тиску. Скориговане значення внутрішнього діаметра труби D_k зазвичай не співпадає зі стандартним. Тому для забезпечення певного значення параметра A можна передбачити укладання послідовно труб різного діаметра – частину із труб з базовим внутрішнім діаметром D_1 , решту – із труб з найближчим меншим стандартним значенням внутрішнього діаметра $D_2 < D_k$.

Оскільки газові мережі середнього тиску одноступеневих систем розподілу газу в сільських населених пунктах працюють в зоні гідравлічно гладких труб турбулентного режиму, то рівняння балансу енергії буде мати вигляд (6). За формулою (7) можна знайти частку довжини поліетиленової труби середнього тиску із най-

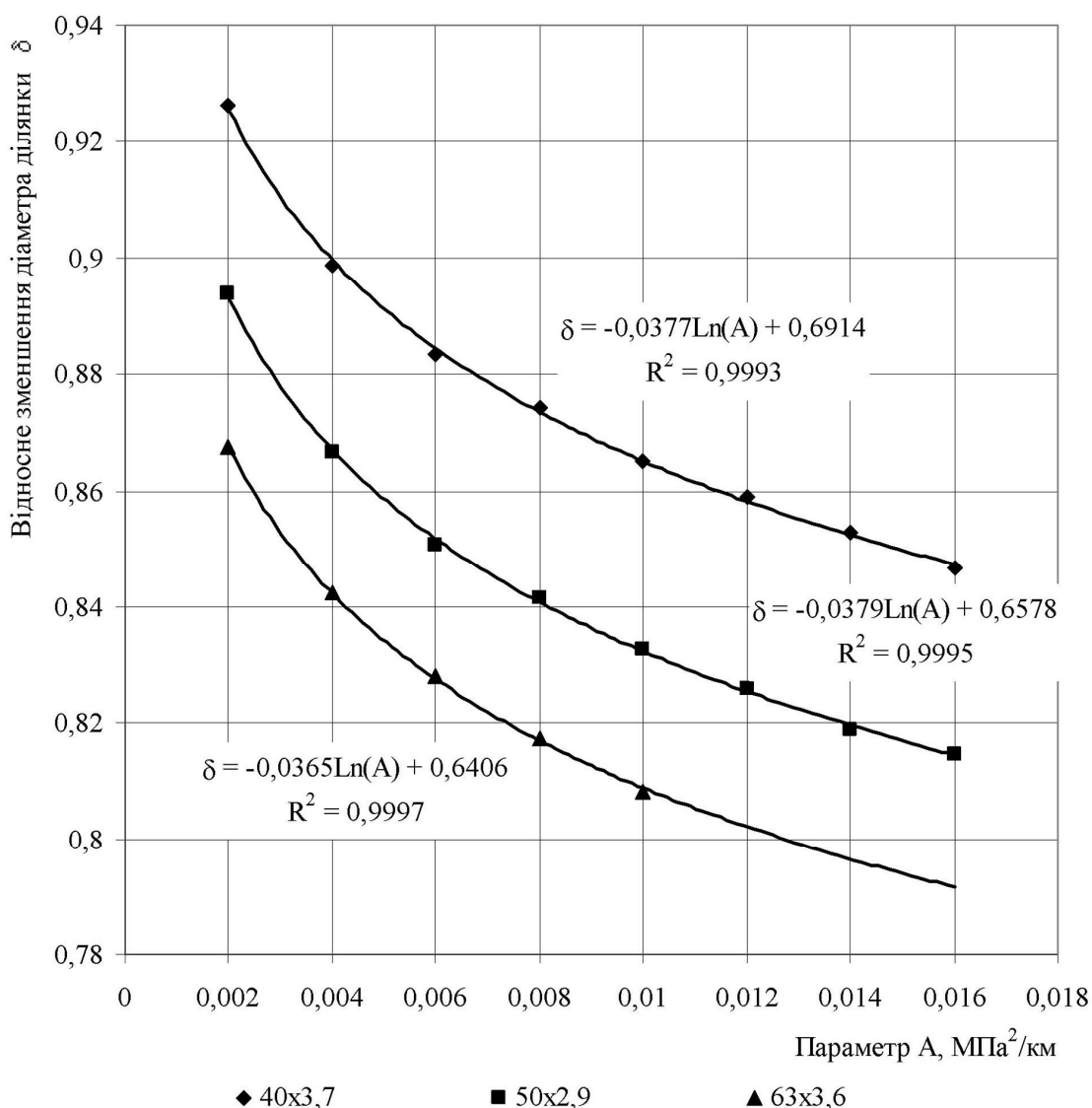


Рисунок 5 – Залежність відносного зменшення необхідного внутрішнього діаметра поліетиленового газопроводу середнього тиску від величини параметра A

ближчим меншим стандартним внутрішнім діаметром δ_l .

Описана вище методика розрахунку реалізована в комп'ютерній програмі KORS, яка написана на мові програмування Visual Basic в середовищі Microsoft Excel. За зазначеною програмою виконані дослідження можливих змін проектних параметрів поліетиленових газопроводів середнього тиску з урахуванням їх фактичної гідравлічної енерговитратності. Розглянутий набір базових стандартних зовнішніх діаметрів від 40 до 63 мм, які найбільше застосовуються в одноступеневих системах газопостачання сіл. Дослідження проведені для різного завантаження газових мереж середнього тиску у діапазоні значень параметра A від $0,2 \cdot 10^{-2}$ (МПа)²/км до $1,6 \cdot 10^{-2}$ (МПа)²/км.

На рисунку 5 наведені графічні залежності відносного зменшення внутрішнього діаметра поліетиленового газопроводу середнього тиску від величини параметра A , а також результати їх математичного моделювання.

Результати досліджень оформляємо також у вигляді графічних залежностей частки довжини поліетиленової труби із найближчим меншим стандартним внутрішнім діаметром від величини параметра A для різних базових внутрішніх діаметрів труб (рис. 6). Використовуючи Microsoft Excel, виконуємо математичне моделювання одержаних графічних залежностей.

У результаті отримуємо, що з достовірністю апроксимації 99 % графічні залежності частки довжини газопроводу із найближчим меншим стандартним діаметром поліетиленової труби середнього тиску від величини параметра A можна описати такими логарифмічними функціями:

для діаметра 63x3,6 мм за умови $0,2 < A < 1,6$

$$\delta_l = 0,235 \cdot \ln A + 1,935; \quad (19)$$

для діаметра 50x2,9 мм за умови $0,2 < A < 1,6$

$$\delta_l = 0,189 \cdot \ln A + 1,398; \quad (20)$$

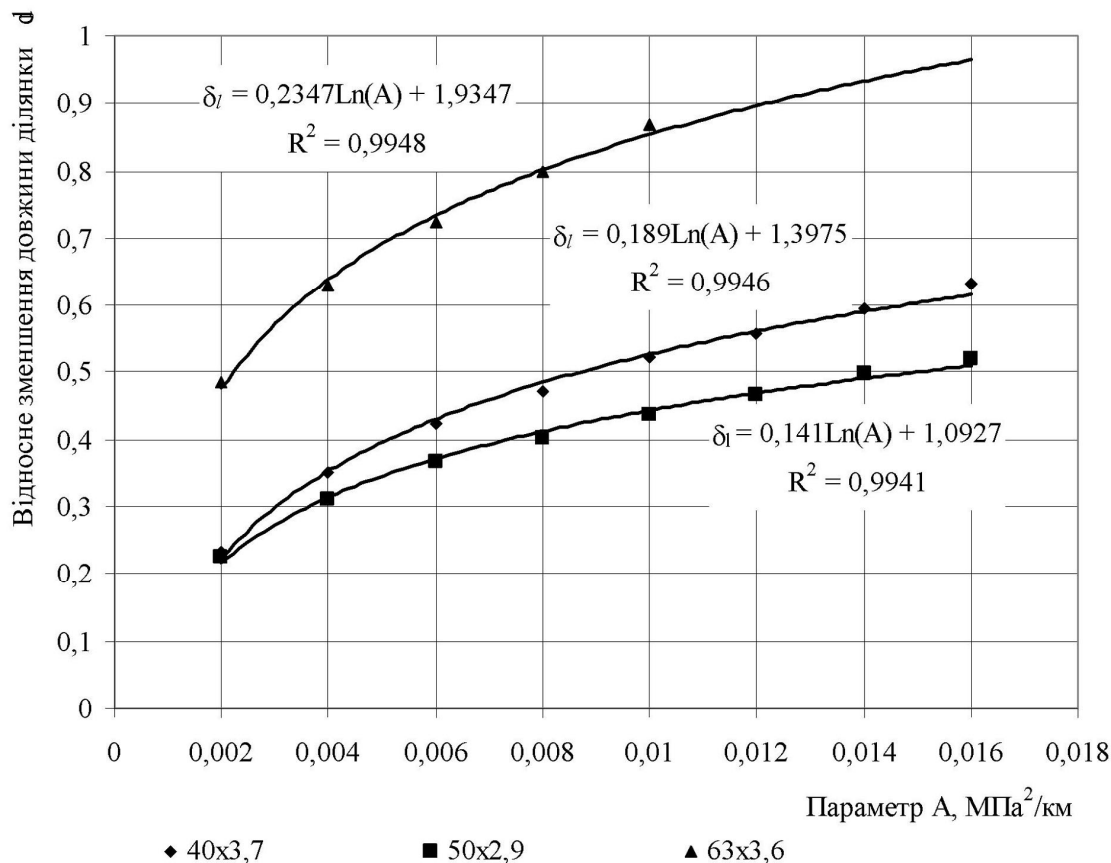


Рисунок 6 – Залежність відносної довжини ділянки з найближчим меншим внутрішнім діаметром поліетиленового газопроводу середнього тиску від величини параметра А

для діаметра 40x3,7 мм за умови 0,2 < A < 1,6

$$\delta_l = 0,141 \cdot \ln A + 1,093 \quad (21)$$

Формули (19)-(21) дають можливість скоригувати у менший бік проектні діаметри ділянок газових мереж середнього тиску одноступеневих систем газопостачання населених пунктів. Зменшення діаметрів призводить до зменшення вартості будівництва газових мереж. Для виконання техніко-економічних розрахунків може бути використана залежність вартості 1 м поліетиленової труби низького і середнього тиску від внутрішнього діаметра згідно із формулою (15).

Виконана апробація запропонованих методів шляхом визначення необхідних діаметрів газових мереж населених пунктів. Розрахунки показали, що для газових мереж низького тиску економія коштів на придбання поліетиленових труб в середньому становить 280 грн. на кожні 100 м. Для одноступеневих систем газопостачання середнього тиску економія коштів становить в середньому 520 грн. на кожні 100 м газових мереж. Слід зазначити, що зменшення діаметра труби призводить також до зменшення вартості запірної арматури і з'єднувальних деталей, зменшує затрати в будівельно-монтажні роботи тощо. Тому економічний ефект більш точного оцінювання гідравлічної енерговитратності поліетиленових газопроводів буде значно більший за вказаний вище.

Література

- 1 Газопостачання. Інженерне обладнання будинків і споруд. Зовнішні мережі та споруди: ДБН В.2.5-20:2001. – Офіц. вид. – К.: Держнаглядохоронпраці України, 2001. – 286 с. – (Державні будівельні норми України).
- 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.

Стаття надійшла до редакційної колегії 28.02.12

Рекомендована до друку професором Грудзом В.Я.