

## ПОРІВНЯННЯ ЕНЕРГОВИТРАТНОСТІ ТРАНСПОРТУВАННЯ ГАЗУ В СТАЛЕВИХ І ПОЛІЕТИЛЕНОВИХ ГАЗОПРОВОДАХ СИСТЕМ ГАЗОПОСТАЧАННЯ НАСЕЛЕНИХ ПУНКТИВ

А.І.Ксенич, М.Д.Середюк

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

*Запропоновано метод кількісного оцінювання зменшення енерговитратності транспортування газу у разі використання поліетиленових труб замість сталевих у системах газопостачання населених пунктів. Реалізація методу в програмному забезпеченні дала змогу дослідити вплив низки чинників на зменшення енерговитратності поліетиленових труб.*

Ключові слова: газові мережі, коефіцієнт гідравлічного опору, сталеві труби, поліетиленові труби, шорсткість поверхні, енерговитратність.

*Предложен метод количественной оценки уменьшения потерь энергии в процессе транспорта газа при использовании полиэтиленовых труб вместо стальных в системах газоснабжения населенных пунктов. Реализация метода в программном обеспечении позволила исследовать влияние ряда факторов на уменьшение потерь энергии при использовании полиэтиленовых труб.*

Ключевые слова: газовые сети, коэффициент гидравлического сопротивления, стальные трубы, полиэтиленовые трубы, шероховатость поверхности, потери энергии.

*The method has been developed of quantitative estimation of decreasing energy loss of gas during its transportation through polyethylene pipes instead of steel pipes in gas-supplying systems. This method has been placed in computer software which has been given possibility to develop influence bank of factors on the decrease energy loss of gas using polyethylene pipes.*

Keywords: gas network, friction factor, steel pipes, polyethylene pipes, roughness, energy loss.

За останні роки в Україні продовжується розвиток систем газопостачання на базі природних газів, у першу чергу, стосовно сільських населених пунктів. Замість традиційних сталевих труб широко практикується використання поліетиленових труб, які характеризуються вищою морозостійкістю, високою еластичністю, стійкістю до дій агресивних хімічних сполук, електрохімічної корозії та блукаючих струмів. Поліетиленові труби укладають безпосередньо в ґрунт без спеціального захисту та ізоляції, їх вага у сім разів менша, ніж металевих такого ж діаметра. Трудомісткість монтажу поліетиленових труб у два-три рази менша, ніж сталевих. Гарантійний термін їх служби становить 50 років за невеликих затрат на прокладання та експлуатацію.

Окрім наведених вище переваг поліетиленові труби характеризуються меншою енерговитратністю транспортування газу, що пояснюється суттєво меншою шорсткістю внутрішньої поверхні труб. У зв'язку з чим важливе практичне і теоретичне значення має вирішення питання кількісного оцінювання зменшення енерговитратності транспортування газу в поліетиленових газових мережах населених пунктів, оскільки у наявних на сьогодні роботах це питання не знайшло відображення. Вирішення даного питання є актуальним, оскільки безпосередньо пов'язано з впровадженням енергоощадних технологій у газовій сфері.

Природний газ, який після газорозподільної станції надходить у газові мережі населеного пункту, має певний запас енергії, що визначається величиною його тиску. Під час руху газу

в газових мережах запас енергії витрачається на подолання, в першу чергу, втрат тиску від тертя. До споживача газ повинен надійти з певним тиском, величина якого залежить від характеристик газового приладу.

Втрати енергії на транспортування природного газу газовими мережами населених пунктів для заданих геометричних характеристик труб та обсягів перекачування газу визначаються величиною коефіцієнта гідравлічного опору кожної ділянки трубопроводної системи. Величина втрат енергії (тиску) газу в газових мережах характеризує енерговитратність його транспортування.

Коефіцієнт гідравлічного опору загалом є складною функцією числа Рейнольдса та відносної шорсткості внутрішньої поверхні трубопроводу. Більшість газових мереж населених пунктів, окрім внутрішніх мереж житлових будинків, здійснюють транспортування газу за турбулентного режиму перекачування.

Відповідно до вимог ДБН В.2.5-20-2001, за турбулентного режиму руху газу коефіцієнт гідравлічного опору в газових мережах високого, середнього і низького тиску необхідно визначати за формулою Альтшуля [1, 2]

$$\lambda = 0,11 \left( \frac{k_e}{D} + \frac{68}{Re} \right)^{0,25}, \quad (1)$$

де:  $k_e$  – абсолютна еквівалентна шорсткість внутрішньої поверхні труб;

$D$  – внутрішній діаметр ділянки газопроводу;

$Re$  – число Рейнольдса для ділянки газопроводу.

Згідно з ДБН В.2.5-20-2001 незалежно від діаметра газопроводу абсолютна еквівалентна шорсткість внутрішньої поверхні повинна прийматися: для сталевих труб  $k_{ec}=0,01$  см, для поліетиленових труб  $k_{en}=0,002$  см.

Значна різниця нормативних значень абсолютної еквівалентної шорсткості внутрішньої поверхні сталевих і поліетиленових труб спричинює відмінність їх гідравлічного опору, а, отже, і різницю енерговитратності транспортування газу в газових мережах населених пунктів, споруджених із традиційних сталевих і перспективних на сьогодні поліетиленових труб.

Розробимо методику, яка дасть змогу кількісно оцінити зменшення енерговитратності транспортування газу газовими мережами населених пунктів у випадку застосування поліетиленових труб замість сталевих.

Першим етапом розрахунків є оцінювання фізичних і термодинамічних властивостей природного газу за умов газових мереж. За відомим складом газу, що використовується у системі газопостачання, визначається молярна маса, відносна густина за повітрям і газова стала.

Враховуючи, що газові мережі населених пунктів характеризуються невеликими перепадами тиску, середній абсолютний тиск газу в газовій мережі знаходимо за формулою

$$P_{cp} = 0,5(P_n + P_k), \quad (2)$$

де  $P_n, P_k$  – абсолютний тиск газу на початку газової мережі і біля споживачів.

Визначаємо середнє значення коефіцієнта стисливості газу в газовій мережі

$$z_{cp} = 1 - 5,5 \frac{P_{cp} \Delta^{1,3}}{T_{cp}^{3,3}}. \quad (3)$$

де  $T_{cp}$  – середня температура газу в газовій мережі.

Використовуючи рівняння стану реального газу, знаходимо густину природного газу за умов газових мереж

$$\rho = \frac{P_{cp}}{z_{cp} R T_{cp}}, \quad (4)$$

де  $R$  – газова стала, що залежить від складу природного газу.

Використовуючи формулу Сатерленда, обчислюємо динамічну в'язкість компонентів природного газу за середньої температури в газових мережах. Визначаємо динамічну  $\eta$  і кінематичну в'язкість  $\nu$  природного газу за умов газових мереж.

Розрахунки проводимо для різних значень внутрішніх діаметрів труб, що використовуються у системах газопостачання населених пунктів.

Задаємося годинною витратою газу за нормальних умов  $Q_{годн} = Q_1$ . Обчислюємо секундну витрату газу за нормальних умов для ділянки газопроводу  $Q_n$ . Зводимо витрату газу на ділянці до робочих умов у газових мережах

$$Q = Q_n \frac{P_n T_{cp} z_{cp}}{P_{cp} T_n}, \quad (5)$$

де:  $T_n$  – температура, що відповідає нормальним умовам,  $T_n=273$  К;

$P_n$  – тиск, що відповідає нормальним умовам,  $P_n=101325$  Па.

Визначаємо число Рейнольдса на ділянці газопроводу за формулою

$$Re = \frac{4Q}{\pi D \nu}. \quad (6)$$

Якщо рух газу відбувається у ламінарному або критичному режимі, тобто виконується умова

$$Re < 4000, \quad (7)$$

то збільшуємо годинну витрату газу за умовою

$$Q_{годн} = Q_{годн} + \Delta Q_m, \quad (8)$$

де  $\Delta Q_m$  – крок зміни витрати газу при визначенні мінімальної витрати газу на ділянці.

У результаті для заданого внутрішнього діаметра труби знаходимо мінімальне значення годинної витрати газу за нормальних умов на ділянці газопроводу  $Q_{min}$ , за якого забезпечується турбулентний режим руху газу. Використовуючи номограму для розрахунку газових мереж високого і середнього або низького тиску, знаходимо максимальне значення годинної витрати газу за нормальних умов  $Q_{max}$ , яке доцільно передбачити на ділянці газових мереж із заданим внутрішнім діаметром труби. Вибираємо крок зміни витрати газу на ділянці для проведення багатоваріантних розрахунків

$$\Delta Q = \frac{Q_{max} - Q_{min}}{n}, \quad (9)$$

де  $n$  – кількість значень витрати газу, що необхідна для побудови графічних та аналітичних залежностей.

Для кожного значення годинної витрати газу за нормальних умов за формулою Альтшуля обчислюємо коефіцієнт гідравлічного опору для сталеві  $\lambda_c$  і поліетиленові труби  $\lambda_n$  однакового внутрішнього діаметра.

Визначимо ступінь зменшення енерговитратності транспортування газу в газових мережах населених пунктів у разі використання замість сталевих поліетиленових труб. Для цього обчислимо відносну різницю значень коефіцієнта гідравлічного опору

$$\delta_e = \frac{\lambda_n - \lambda_c}{\lambda_c} 100, \% \quad (10)$$

Описаний вище алгоритм реалізований нами у програмі ECONOM, яка дає змогу методом комп'ютерного моделювання дослідити вплив діаметра, ступеня завантаження газопроводу, а також температурного чинника на кількісні показники зменшення енерговитратності транспортування газу в газових мережах населених пунктів у разі використання замість сталевих поліетиленових труб.

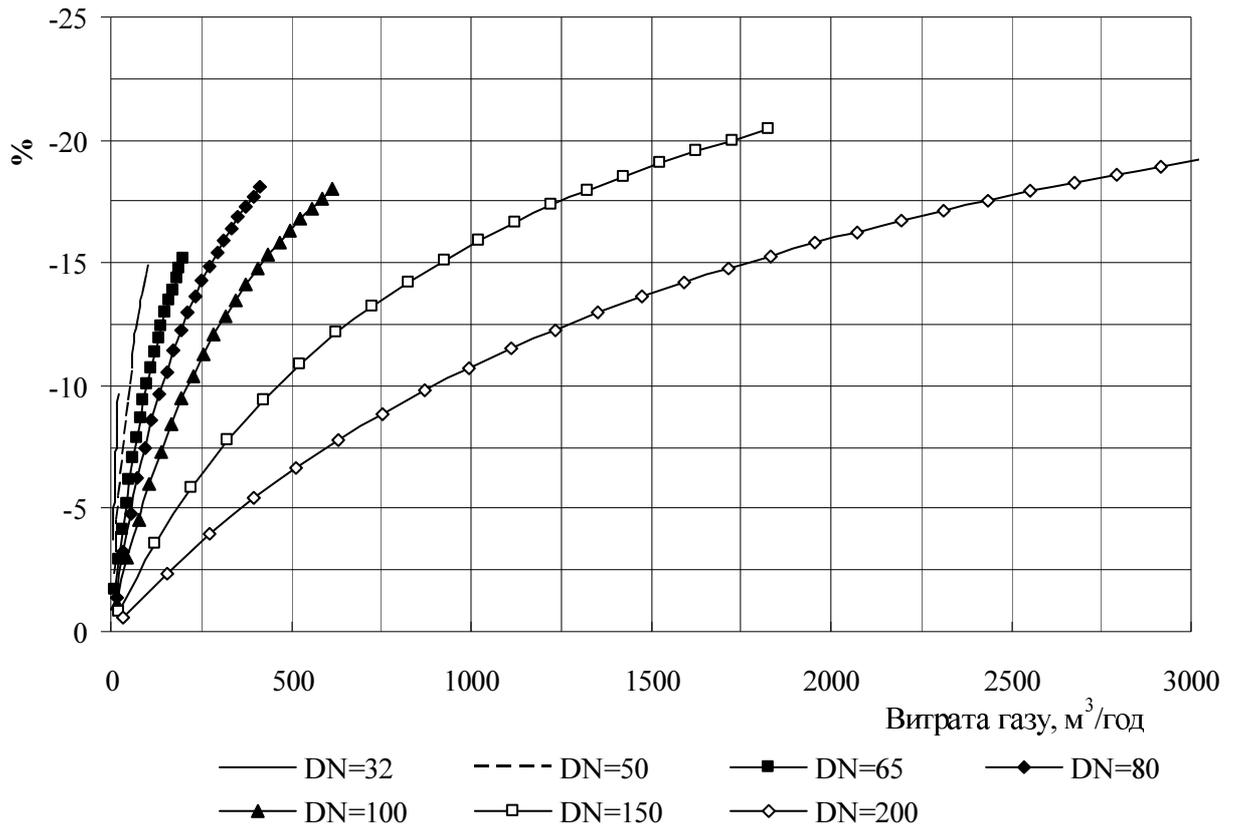


Рисунок 1 – Зменшення енерговитратності транспортування газу залежно від витрати газу за низького тиску у разі використання поліетиленових труб замість сталевих

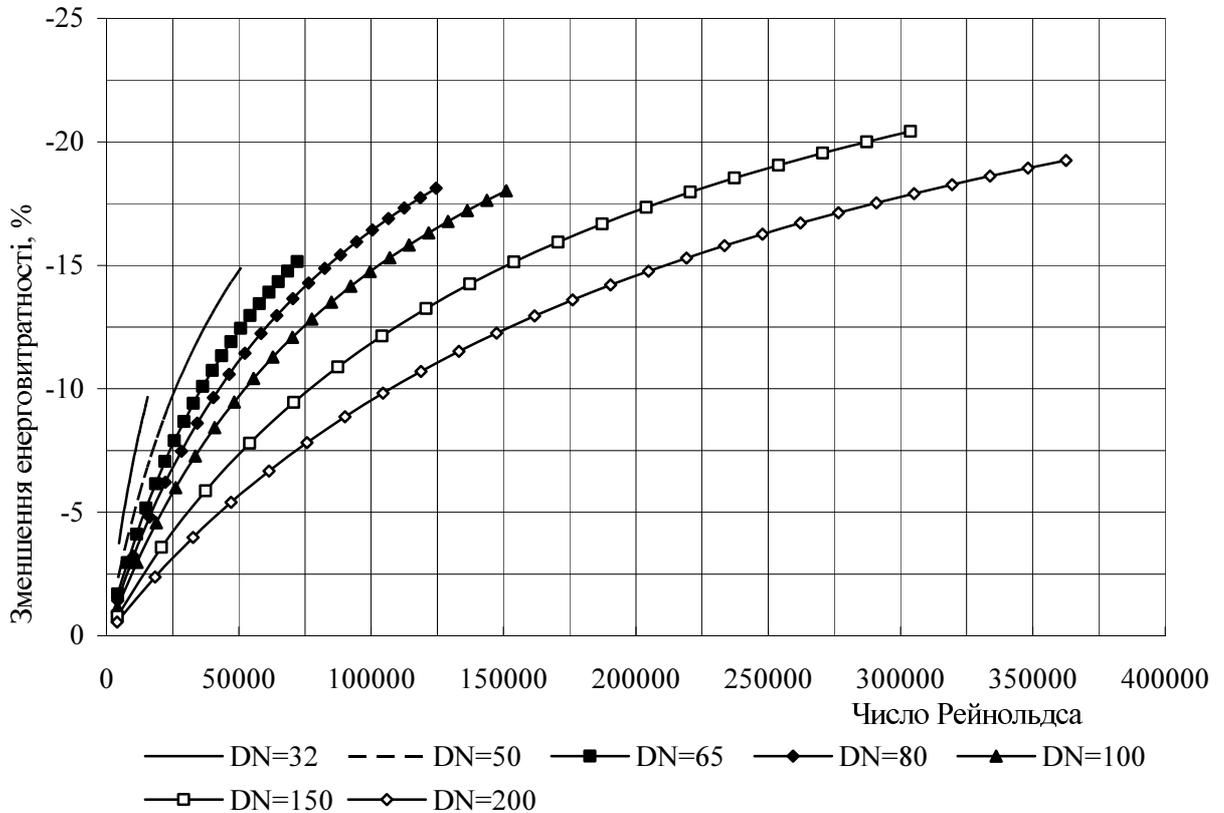


Рисунок 2 – Зменшення енерговитратності транспортування газу залежно від числа Рейнольдса за низького тиску у разі використання поліетиленових труб замість сталевих

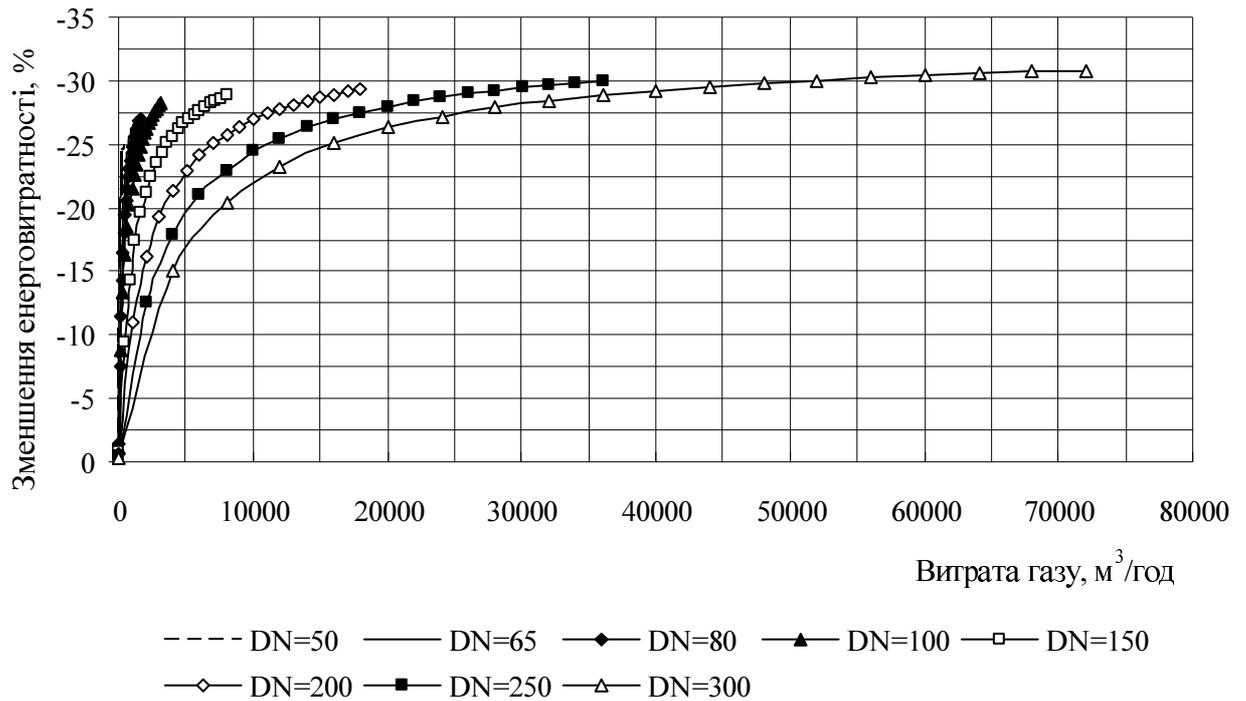


Рисунок 3 – Зменшення енерговитратності транспортування газу залежно від витрати газу за середнього та високого тиску у разі використання поліетиленових труб замість сталевих

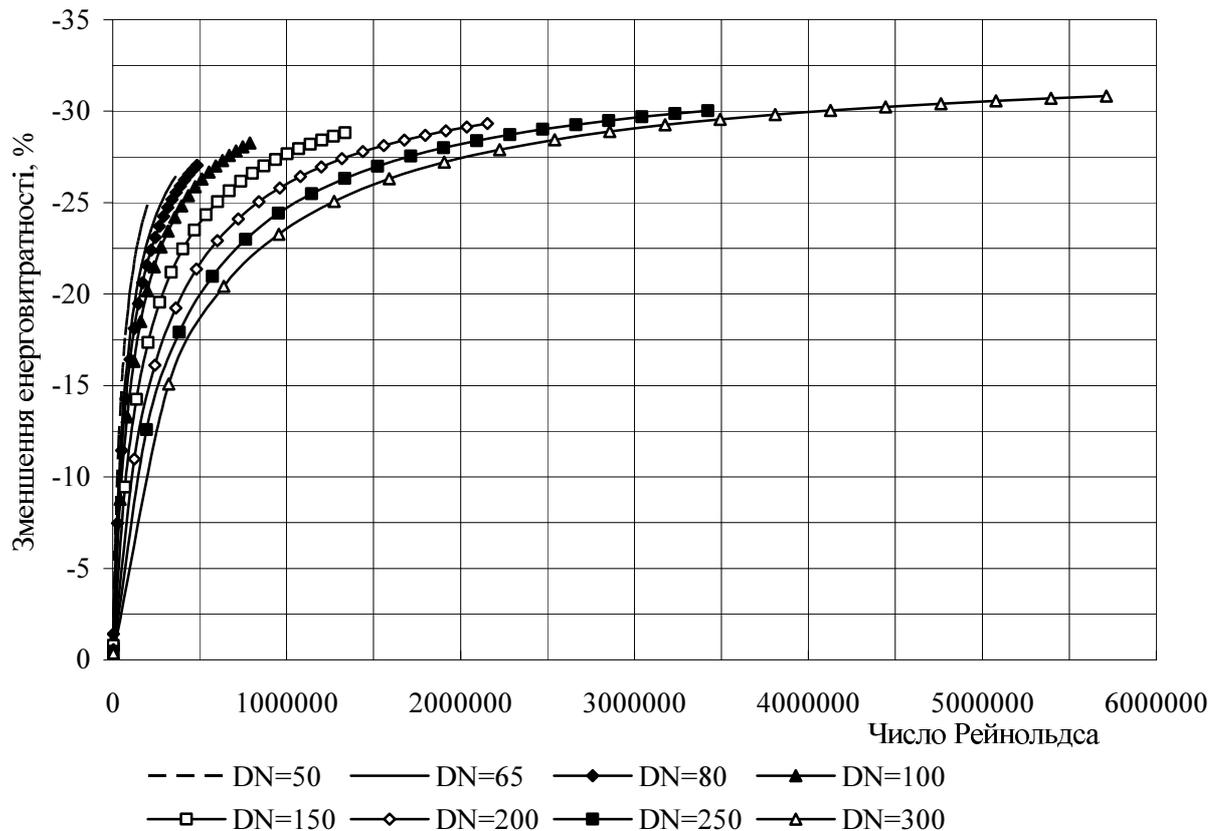


Рисунок 4 – Зменшення енерговитратності транспортування газу залежно від числа Рейнольдса за середнього та високого тиску у разі використання поліетиленових труб замість сталевих

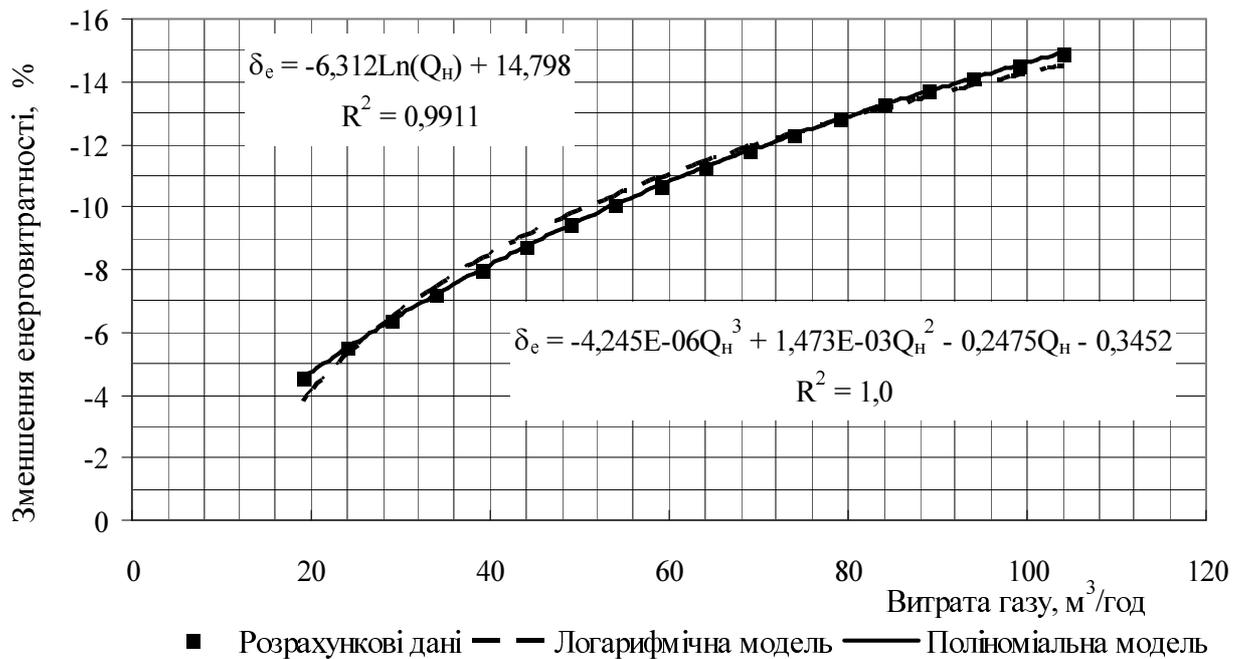


Рисунок 5 – Математичне моделювання зменшення енерговитратності транспортування газу залежно від витрати за низького тиску у разі використання поліетиленової труби DN=50 замість сталевій

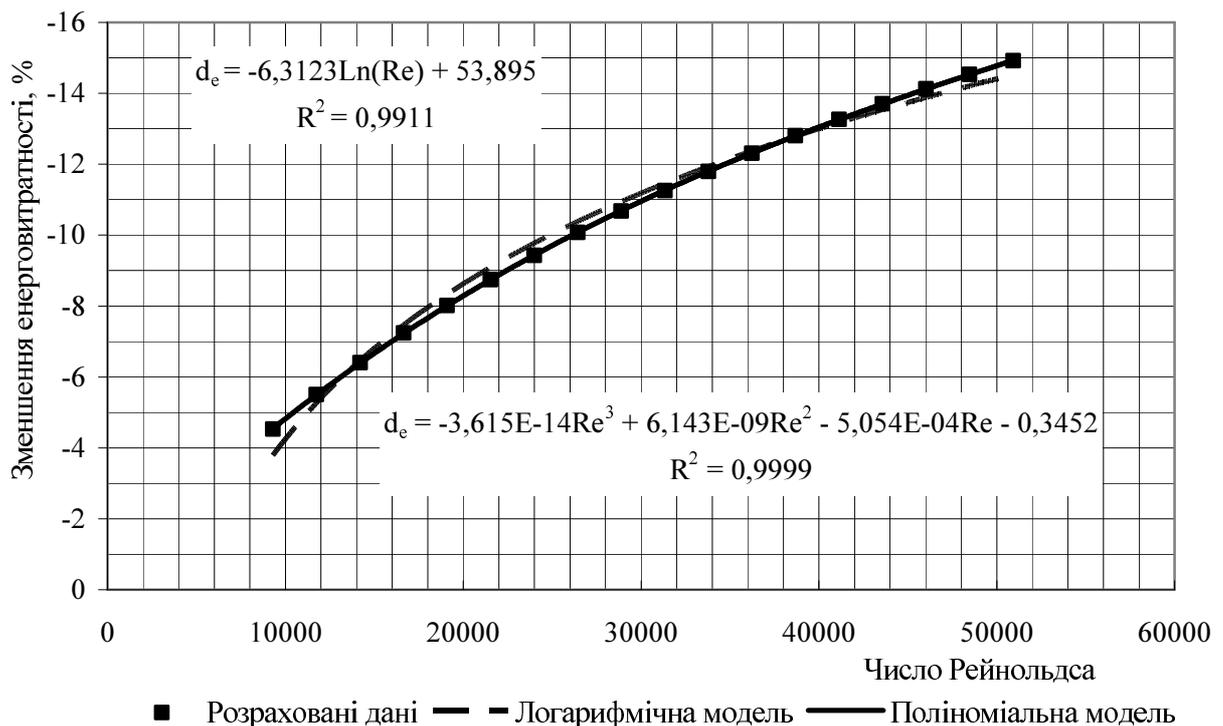


Рисунок 6 – Математичне моделювання зменшення енерговитратності транспортування газу залежно від витрати за низького тиску у разі використання поліетиленової труби DN=50 замість сталевій

Дослідження проведені для чинного сортаменту труб, які використовуються в системах газопостачання для низького тиску, а також для середнього та високого тиску.

Рисунки 1 і 2 ілюструють одержані нами залежності зменшення енерговитратності поліетиленових труб на транспортування газу від витрати газу і числа Рейнольдса відповідно для

різних діаметрів труб за низького тиску. На рисунках 3 і 4 наведено залежності зменшення енерговитратності поліетиленових труб від витрати газу і числа Рейнольдса для різних діаметрів за середнього і високому тиску.

Використовуючи Microsoft Excel, виконано математичне моделювання одержаних графічних залежностей. У результаті за умов низь-

кого, середнього і високого тиску для кожного діаметра труб газових мереж одержуємо математичні моделі залежності зменшення енерговитратності поліетиленових труб на транспортування газу від витрати газу і від числа Рейнольдса у вигляді полінома третього степеня або логарифмічної функції. Приклади результатів математичного моделювання наведено на рисунках 5 і 6.

Для практичного використання вибираємо більш прості логарифмічні моделі, які забезпечують необхідну точність прогнозування зменшення енерговитратності поліетиленових труб, порівняно зі сталевими з таким же номінальним діаметром.

Для поліетиленових газопроводів низького тиску аналітичні залежності зменшення енерговитратності (%) від годинної витрати газу за нормальних умов у робочому діапазоні витрат газу мають такий вигляд:

$$\begin{aligned} \text{DN}=30 & \delta_e = -4,998 \cdot \ln Q_H + 5,575, \\ \text{DN}=50 & \delta_e = -6,312 \cdot \ln Q_H + 14,798, \\ \text{DN}=65 & \delta_e = -6,222 \cdot \ln Q_H + 18,334, \\ \text{DN}=80 & \delta_e = -6,821 \cdot \ln Q_H + 23,363, \\ \text{DN}=100 & \delta_e = -6,752 \cdot \ln Q_H + 25,776, \\ \text{DN}=150 & \delta_e = -7,212 \cdot \ln Q_H + 33,957, \\ \text{DN}=200 & \delta_e = -6,756 \cdot \ln Q_H + 35,383. \end{aligned}$$

Для поліетиленових газопроводів низького тиску аналітичні залежності зменшення енерговитратності (%) від числа Рейнольдса у робочому діапазоні витрат газу мають такий вигляд:

$$\begin{aligned} \text{DN}=30 & \delta_e = -4,998 \cdot \ln Re + 38,861, \\ \text{DN}=50 & \delta_e = -6,312 \cdot \ln Re + 53,895, \\ \text{DN}=65 & \delta_e = -6,222 \cdot \ln Re + 54,903, \\ \text{DN}=80 & \delta_e = -6,821 \cdot \ln Re + 62,289, \\ \text{DN}=100 & \delta_e = -6,752 \cdot \ln Re + 62,918, \\ \text{DN}=150 & \delta_e = -7,212 \cdot \ln Re + 70,847, \\ \text{DN}=200 & \delta_e = -6,756 \cdot \ln Re + 67,701. \end{aligned}$$

Для поліетиленових газопроводів середнього і високого тиску аналітичні залежності зменшення енерговитратності (%) від годинної витрати газу за нормальних умов у робочому діапазоні витрат газу мають такий вигляд:

$$\begin{aligned} \text{DN}=50 & \delta_e = -7,265 \cdot \ln Q_H + 18,605, \\ \text{DN}=65 & \delta_e = -7,134 \cdot \ln Q_H + 22,525, \\ \text{DN}=80 & \delta_e = -7,039 \cdot \ln Q_H + 24,413, \\ \text{DN}=100 & \delta_e = -6,746 \cdot \ln Q_H + 25,449, \\ \text{DN}=150 & \delta_e = -6,551 \cdot \ln Q_H + 29,212, \\ \text{DN}=200 & \delta_e = -6,297 \cdot \ln Q_H + 31,455, \\ \text{DN}=250 & \delta_e = -5,856 \cdot \ln Q_H + 30,390, \\ \text{DN}=300 & \delta_e = -5,140 \cdot \ln Q_H + 25,587. \end{aligned}$$

Для поліетиленових газопроводів середнього і високого тиску аналітичні залежності зменшення енерговитратності (%) від числа

Рейнольдса у робочому діапазоні витрат газу мають такий вигляд:

$$\begin{aligned} \text{DN}=50 & \delta_e = -7,265 \cdot \ln Re + 63,603, \\ \text{DN}=65 & \delta_e = -7,134 \cdot \ln Re + 64,450, \\ \text{DN}=80 & \delta_e = -7,039 \cdot \ln Re + 64,581, \\ \text{DN}=100 & \delta_e = -6,746 \cdot \ln Re + 62,555, \\ \text{DN}=150 & \delta_e = -6,551 \cdot \ln Re + 62,719, \\ \text{DN}=200 & \delta_e = -6,297 \cdot \ln Re + 61,577, \\ \text{DN}=250 & \delta_e = -5,856 \cdot \ln Re + 57,054, \\ \text{DN}=300 & \delta_e = -5,140 \cdot \ln Re + 57,054. \end{aligned}$$

Аналіз результатів досліджень дав підстави зробити такі висновки:

зменшення енерговитратності транспортування газу у разі використання замість сталевих поліетиленових труб залежить від завантаження труби, внутрішнього діаметра, температури і тиску газу в газових мережах;

у разі застосування поліетиленових труб замість сталевих у газових мережах низького тиску енерговитратність транспортування газу зменшується на 4–19% залежно від зазначених вище чинників;

залежності зменшення енерговитратності поліетиленових труб на транспортування газу від витрати газу і числа Рейнольдса за низького тиску для різних діаметрів можна з похибкою до 1% описати поліномом третього степеня або логарифмічною функцією;

у разі застосування поліетиленових труб замість сталевих у газових мережах середнього або високого тиску енерговитратність транспортування газу зменшується на 6–31% залежно від зазначених вище чинників;

залежності зменшення енерговитратності поліетиленових труб на транспортування газу від витрати газу і числа Рейнольдса за середнього або високого тиску для різних діаметрів можна з похибкою до 1% описати поліномами третього степеня або з похибкою до 4% більш простими логарифмічними виразами;

запропонована методика дає змогу у кожному конкретному випадку розрахувати кількісні показники зменшення енерговитратності транспортування газу у разі застосування поліетиленових труб замість традиційних сталевих у системах газопостачання населених пунктів.

### **Література**

- 1 Середюк М.Д. Проектування та експлуатація систем газопостачання населених пунктів / М.Д. Середюк, В.Я. Малик, В.Т. Болонний – Івано-Франківськ: Факел. 2003. – 435 с.
- 2 Ксенич А.І. Розрахунок газових мереж з використанням формули Колбрука / А.І. Ксенич // Нафтогазова енергетика. 2007. – № 4(5). – С. 81-85.

*Стаття постуила в редакційну колегію*  
10.07.09

*Рекомендована до друку професором*  
**В. Я. Грудзом**