

© М.Д. Середюк
д-р техн. наук
А.І. Ксеніч
канд. техн. наук
ІФНТУНГ

Особливості газодинамічних процесів у поліетиленових газопроводах систем газопостачання

УДК 622.691.4

Наведено результати експериментальних досліджень газодинамічних процесів, що супроводжують рух газу в поліетиленових газопроводах. Запропоновані формули для коефіцієнта гідравлічного опору поліетиленових газопроводів низького тиску для різних режимів руху газу. Досліджено мікроструктуру поверхні поліетилену високої щільності.

Ключові слова: газові мережі низького тиску, поліетиленові труби, гідравлічний розрахунок, коефіцієнт гідравлічного опору.

Приведены результаты экспериментальных исследований газодинамических процессов, сопровождающих движение газа в полиэтиленовых газопроводах. Предложены формулы для коэффициента гидравлического сопротивления полиэтиленовых газопроводов низкого давления при различных режимах движения газа. Исследована микроструктура поверхности полиэтилена высокой плотности.

Ключевые слова: газовые сети низкого давления, полиэтиленовые трубы, гидравлический расчет, коэффициент гидравлического сопротивления.

Results of experimental studies of gas-dynamic processes accompanying gas flow in polyethylene pipelines are presented. Formulas for the coefficient of hydraulic resistance in polyethylene low pressure gas pipelines under different modes of gas flow have been proposed. Research of the high-density polyethylene surface microstructure has been performed.

Key words: low pressure gas networks, polyethylene pipes, hydraulic calculation, hydraulic friction factor.

На теренах України, окрім унікальної системи магістральних газопроводів, функціонує на порядок більша за протяжністю система газових мереж населених пунктів. З її допомогою здійснюють постачання природного газу побутовим, комунальним та промисловим споживачам. Ця система має складну геометричну конфігурацію, проходить у 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 мають 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 математич-

них моделей, одержаних дослідним шляхом у випадку руху рідини і газу в сталевих трубах. Автоматичне перенесення закономірностей руху газу в сталевих трубах на поліетиленові призводить до суттєвих похибок і не дає можливості адекватно прогнозувати режим їх експлуатації.

Так, під час проведення гідравлічних розрахунків систем газопостачання з поліетиленових труб, згідно з вимогами вітчизняного нормативного документа [1], абсолютну еквівалентну шорсткість внутрішньої поверхні газопроводу потрібно приймати $k_e = 0,002$ см. Щодо вимог відповідного нормативного документа Російської Федерації СП 42-101-2003 [2], то там пропонується зовсім інше значення $k_e = 0,0007$ см. У світовій же практиці під час проведення гідравлічних розрахунків використовують значення абсолютної еквівалентної шорсткості $k_e = 0,00015$ см [3, 4]. Таке розходження величин одного і того ж параметра свідчить про те, що достовірною величина шорсткості поліетиленових газових труб невідома широкому загалу учених, а тому потребує додаткового вивчення.

Для встановлення особливостей газодинамічних процесів у сучасних поліетиленових газопроводах за до-

помогою експериментальної установки нами проведено експериментальні дослідження енерговитратності поліетиленових ділянок низького та середнього тиску в діапазоні витрат, що відповідає робочим умовам у системах газопостачання населених пунктів.

Виявлено, що перехід від ламінарного до критичного режиму руху газу в поліетиленовому газопроводі низького тиску відповідає такому критичному числу Рейнольдса $Re_{k1}=2150$. Перехід від критичного до турбулентного режиму руху газу відповідає числу Рейнольдса $Re_{k2}=2400$.

Коефіцієнт гідравлічного опору поліетиленового газопроводу низького тиску може бути розрахований за такими формулами:

для ламінарного режиму руху $Re < Re_{k1} = 2150$

$$\lambda = 41,05 \cdot Re^{-0,879}, \quad (1)$$

для критичного режиму руху $Re_{k1} < Re < Re_{k2} = 2400$

$$\lambda = 3,185 \cdot 10^{-5} Re^{-0,0199}, \quad (2)$$

для турбулентного режиму руху в зоні гідравлічно гладких труб $Re < Re_{k2} = 2400$

$$\lambda = 4,21 \cdot Re^{-0,552}. \quad (3)$$

Усі отримані математичні моделі для коефіцієнта гідравлічного опору поліетиленових газопроводів мають високий ступінь вірогідності апроксимації, що свідчить про їх достовірність.

Порівняння нормативних моделей значення коефіцієнта гідравлічного опору та одержаних у результаті експериментальних досліджень свідчать про суттєві відмінності у фактичних даних енерговитратності поліетиленових газопроводів. Зокрема, відносна різниця результатів залежить від режиму руху газу і змінюється від $\delta = 0\%$ для числа Рейнольдса $Re = 5000$ до $\delta = 60\%$ для числа Рейнольдса $Re = 70\,000$.

Суттєвий вплив на газодинамічні процеси в газопроводах мають стан та структура внутрішньої поверхні трубопроводу. Щодо поліетиленових ділянок, то велике значення має робота вчених із Бельгії та Голландії [5], які за допомогою сучасного атомно-силового мікроскопа NanoScope III отримали знімки поверхні поліетилену високої щільності, виготовленого методом екструзії (витискуванням) із подальшим охолодженням. Таку ж технологію зараз використовують в Україні для виробництва поліетиленових газових труб.

На рис. 1 наведено один зі знімків поверхні зразка поліетилену високої щільності, одержаний за допомогою атомно-силового мікроскопа NanoScope III. Темні області відповідають впадинам на поверхні, світлі – підвищенням. Для глибшого аналізу особливостей структури поверхні зразка поліетиленового матеріалу нами розроблено програмне забезпечення ScanProf, яке дає змогу, використовуючи знімки атомно-силового мікроскопа, побудувати профіль поверхні в довільному перерізі.

Приклад одержаних результатів для перерізу 4–4 наведено на рис. 2. По вертикалі відкладено висоту виступів у нанометрах, по горизонталі – довжину зразка в мікрометрах.

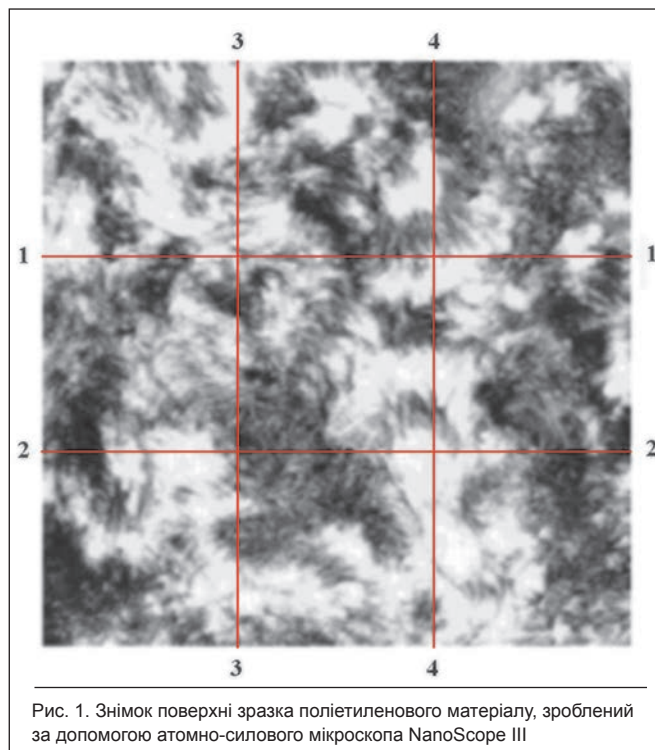


Рис. 1. Знімок поверхні зразка поліетиленового матеріалу, зроблений за допомогою атомно-силового мікроскопа NanoScope III

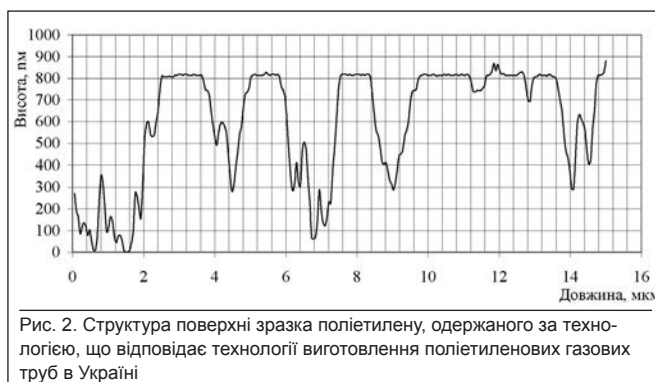


Рис. 2. Структура поверхні зразка поліетилену, одержаного за технологією, що відповідає технології виготовлення поліетиленових газових труб в Україні

Аналіз інтерпретації результатів досліджень засвідчив, що максимальна різниця висот профілю структури поверхні зразка поліетиленового матеріалу становить $880 \cdot 10^{-9}$ м. Закономірності зміни висоти та форми виступів шорсткості поверхні поліетиленового матеріалу якісно відрізняються від характеру змін виступів шорсткості сталевих труб. У структурі поліетиленового матеріалу переважають практично рівні площадки та заокруглені виступи.

Відповідно до результатів досліджень, абсолютна шорсткість внутрішньої поверхні поліетиленової газової труби не може бути більша за 900 нанометрів, що відповідає $0,9 \cdot 10^{-4}$ см. Абсолютна еквівалентна шорсткість як усереднена величина буде мати ще менше значення.

Отже, виявлено, що значення абсолютної еквівалентної шорсткості поліетиленових газопроводів, яке рекомендує чинний нормативний документ, більш ніж у 20 разів перевищує фактичне значення.

Малі значення абсолютної, а відповідно і відносної шорсткості внутрішньої поверхні поліетиленових труб

підтверджують правомірність результатів експериментальних досліджень, які виявили наявність зони гідравлічно гладких труб у газових мережах низького і середнього тиску для чисел Рейнольдса до 70000.

Більше того, аналіз номограм Моуді для розрахунку коефіцієнтів опору шорстких труб [3, 4] дає змогу прогнозувати, що гідравлічна гладкість поліетиленових труб низького і середнього тиску буде збережена при числах Рейнольдса до 300 000–400 000.

Висновок

Проведені теоретичні та експериментальні дослідження дали змогу встановити особливості руху газу в полі-

етиленових газових мережах. Досліджено мікроструктуру внутрішньої поверхні поліетиленових труб і виявлено суттєві відмінності від мікроструктури внутрішньої поверхні сталевих труб. Зазначена відмінність, на нашу думку, спричинює особливості взаємодії потоку газу з внутрішньою стінкою поліетиленової труби, що знайшло відображення у особливостях прояву законів тертя при русі газу та математичних моделях, що їх описують.

На основі результатів експериментальних досліджень гідравлічної енерговитратності поліетиленових газопроводів розроблено ряд уточнених методик розрахунку газових мереж низького та середнього тиску з поліетиленових труб, які передбачають використання наведених вище математичних моделей для коефіцієнта гідравлічного опору.

Список використаних джерел

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. **Общие положения по проектированию и строительству газораспределительных систем из металлических и полиэтиленовых труб:** СП 42-101-2003. – [Действующий от 2003-07-08]. – М.: ЗАО «Полимергаз», ГУП ЦПП, 2003. – 223 с. – [Свод правил по проектированию и строительству].
3. **Larock B.E.** Hydraulics of pipeline systems / B.E. Larock, W.J. Roland, Z.W. Gary. – CRC Press LLC, 2000. – 533 p.
4. **Handbook of polyethylene pipe** / [The plastic pipe institute]. – USA.: The plastic pipe institute, inc., 2006. – 540 p.
5. **Morfology of Extruded High-Density Polyethylene Pipes Studied by Atomic force Microscopy** / D. Trifonova, P. Drouillon, A. Ghanem [and oth.] // Journal of Applied Polymer Science. – 1997. – Vol. 66. – P. 515–523.

Автори статті



Серedyuk Марія Дмитрівна

Доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри транспорту і зберігання нафти і газу Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу. Закінчила з відзнакою газонафтопромисловий факультет Івано-Франківського інституту нафти і газу, спеціальність – проектування та експлуатація газонафтопроводів, газосховищ та нафтобаз. Напрямок наукових досліджень: розробка наукових та методологічних основ проектування та експлуатації газопровідних систем складної конфігурації.



Ксенич Андрій Іванович

Кандидат технічних наук, доцент кафедри транспорту і зберігання нафти і газу Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу. Закінчив факультет нафтогазопроводів Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу, спеціальність – газонафтопроводи та газонафтоховища. Напрямок наукових досліджень: розробка уточнених методологій проектних та експлуатаційних розрахунків систем газопостачання.

Шановні читачі!

**Нагадуємо, що передплатити журнал
«Нафтогазова галузь України»**

Ви можете через відділення зв'язку України

Передплатний індекс 74332