

Виробничий досвід

УДК 622.692.4

АСПЕКТИ ЗАСТОСУВАННЯ СУЧАСНИХ ГЛАДКИХ ПОКРИТТІВ У ВІТЧИЗНЯНІЙ ГТС ВИСОКОГО ТИСКУ

М.І.Фук

*УМГ "Харківтрансгаз", 61001, м. Хаків, вул. Культури, 20 а, тел. (057)7019358
e-mail: fuk@kntg.com.ua*

Розглянуті техніко-економічні аспекти і виконане оцінювання впливу гладких покриттів внутрішньої поверхні труб на втрати тиску в газопроводі при транспортуванні газу.

Rассмотрены технико-экономические аспекты и произведена оценка влияния гладких покрытий внутренней поверхности трубы на потери давления в газопроводе при транспортировке газа.

The technical and economical aspects of application modern smooth sheathing in native gas transmission system have been considered. The assessment of impact of smooth sheathing of internal surface on pressure fall during gas transportation has been done.

Статистика – річ уперта. Досвід застосування гладких покриттів нараховує понад 50 років. Їх уперше застосувала компанія Tennessee Gas Pipeline Co в США в 1955 р. Пізніше компанія Sigma Coatings розробила покриття торговельної марки SigmaLine 403, які є незвичайно гладкими стосовно руху газу по трубопроводу. Газопроводи в Аргентині, Нідерландах, Мексиці, Єгипті й деяких інших країнах захищені покриттям SigmaLine 403 і надійно експлуатуються протягом 25 років. Основними позитивами гладких покриттів є зниження гідравлічного опору та вірогідності мікросвищів при транспортуванні газу. Тривалою виробничою статистикою підтверджено ряд інших позитивних технічних факторів застосування гладких внутрішніх покриттів трубопроводів:

- забезпечено чистоту продукту, що транспортується;
- суттєво знижено експлуатаційні витрати на запірну арматуру та фільтраційне обладнання;
- прискорено введення трубопроводу в експлуатацію та ремонт, оскільки покриття захищає трубу під час зберігання, перевезення, спорудження та облаштування;
- прискорено процес сушіння трубопроводу після гідравлічних випробувань, оскільки волога легше випаровується з гладкої поверхні;
- ліквідовано дорогий і тривалий процес очищення трубопроводу від бруду й іржі;

- знижено витрату інгібіторів корозії під час транспортування вологого газу;
- зменшено енерговитрати на перекачування газу і створення певного кінцевого тиску в процесі експлуатації трубопроводу;
- зменшено капітальні витрати завдяки можливому зменшенню проектного діаметра трубопроводу.

Якщо навіть частина наведених факторів наявні в проектах реконструкції або капітального ремонту газопроводів, це вже забезпечує значну технологічну та економічну ефективність від нанесення внутрішнього покриття газопроводів. В решті жодна газова компанія світу не застосувала б внутрішнє покриття, якби не мала очевидної вигоди від цього.

Практикою встановлено, що для газопроводів достатньо нанести внутрішнє покриття поверхні товщиною 40-75 мкм для суттєвого покращання їх експлуатаційних характеристик. При цьому витрати на покриття газопроводів окупляться в процесі експлуатації багаторазово. Якщо брати до уваги тільки економію енерговитрат на транспортування завдяки вищій гідравлічній ефективності, то можна повернути відповідні витрати вже за 3-4 роки. Аналітики ЗАТ «Анкорт» стверджують, що для газопроводів економічна ефективність застосування гладких покриттів прямо пропорційна діаметру трубопроводу. Вітчизняне проектування газопроводів кінця минулого століття, на жаль, не враховувало цей передовий тридцятирічний

досвід впровадження гладких покриттів іноземними трубопровідними компаніями.

Шорсткість поверхні труб безпосередньо пов'язана з параметром гідравлічної ефективності транспортування газу. Контролювати шорсткість покриття та прогнозувати гідравлічну ефективність трубопроводу можна за допомогою сучасних компактних профілеграфів-профівимірювачів комбінованого типу, які нерідко вбудовують в інтелектуальні поршні.

У літературі наведено різні дані стосовно шорсткості поверхні газопровідних труб з покриттям і без нього. Звіти трубопровідних компаній США та Японії свідчать про збільшення еквівалентної шорсткості труб у 3-5 разів під час експонування протягом 3-6 місяців у разі відсутності внутрішнього захисного покриття.

Магістральні газопроводи України здебільшого відпрацювали кілька десятків років. Частина з них підлягала ремонту із подальшим випробуванням ділянок повітрям і водою. Необхідно зазначити, що час проведення одного ремонту становить у середньому кілька місяців. Логічно припустити, що шорсткість старих трубопроводів за величиною близька до шорсткості тривалоекспонованих нових трубопроводів.

Виходячи з такого припущення, коефіцієнт гідравлічної ефективності газопроводу погіршується як при експлуатації і ремонті старої труби, так і при тривалому зберіганні нової.

Основні вимоги до тонкоплівкового внутрішнього покриття стосуються в основному таких параметрів, як еластичність, ударна міцність та адгезія. Покриття повинне бути стійким до вологи, розчинів солі, конденсату та температурних коливань.

Великою проблемою залишається захист зварного стику труб з покриттям, особливо при транспортуванні вологого газу і застосуванні старих технологій зварювання. На трубах великого діаметра зварні шви можуть бути оброблені вручну при монтажі трубопроводу, але на малих діаметрах це неможливо. Докорінно вирішує проблему для нових газопроводів малого та середнього діаметра, за думкою автора, тільки однопрохідне (суцільне) плазмове зварювання-формування спеціалізованим зварювальним хомутом з наступним лапоскопічним нанесенням внутрішнього покриття поблизу шва.

У процесі звичайного зварювання, якщо не залишені непокритими кінці труби на 1-2 см, краї покриття обгоряють на відстані 4-8 мм. Це є стримуючим чинником для застосування внутрішніх покриттів. Проблему традиційно пробують вирішувати, застосовуючи внутрішні покриття спільно з інгібіторами корозії. Але в цьому випадку відбувається подорожчання кінцевої вартості транспортування газу.

Рекомендована практика API RP 5L2 надає інформацію про внутрішні покриття магістральних трубопроводів, що транспортують корозійнопасивний природний газ. Захисне покриття SigmaLine 403 успішно випробуване в галузевому інституті ВАТ «Газпром» на відповідність вимогам, яким повинні відповідати гладкі

покриття для внутрішнього захисту газопроводів.

Однак, зазначені рекомендації обмежуються нанесенням покриттів на нові труби, а фактичний стан внутрішньої порожнини старих трубопроводів України відрізняються від вихідного стану внутрішньої порожнини нових труб світових виробників. З іншого боку, оскільки при будівництві газопроводів України застосовувалися якісні марки сталей і при цьому експлуатація газопроводів проходила із природним утворенням тонкої масляної плівки, то шорсткість поверхні металу змінювалася тільки через найтонший (пилового типу) абразив, в основному, на поворотах і переходах газопроводів. Окрім того, практика експлуатації магістральних газопроводів України показала відсутність суттєвого погіршення гідравлічної ефективності магістрального газопроводу при його періодичному плановому очищенні. У цих умовах значно важливішим для вітчизняної газотранспортної системи є підвищення гідравлічної ефективності газопроводів-відводів та НКТ свердловин. Це можливо зробити шляхом внутрішньопорожнинного плазмового зварювання-формування стиків і наступної обробки внутрішньої порожнини труб покриттям.

На нашу думку, доцільним є використання комплексу технологій, а саме: застосування сучасних багатокомпонентних матеріалів покриттів, автоматизованого нанесення покриття, автоматизованого однопрохідного суцільного зварювання, внутрішньотрубної лапоскопічної обробки та контрольної дефектоскопії. Нанесення покриття після внутрішньої обробки стиків старого газопроводу дозволить не тільки поліпшити гідравлічну ефективність газопроводів, але одночасно зменшити витрати на введення в склад природного газу, що транспортується, дорогих інгібіторів корозії (в місцях підвищеного скупчення та конденсації вологи). На нашу думку, додатковим ефектом такого підвищення гідравлічної ефективності газопроводів стане зниження витоків газу через мікропори дефектів сталеваріння, мікротріщини дефектів трубопрокату, корозійні дефекти-мікроотвори, непровари стиків, тріщини старих ущільнень тощо. Не слід також забувати про можливість закладення до проектів газопроводів – відводів до ГРС труб з меншим діаметром.

Наведене вище свідчить про практичну важливість обробки стиків і внутрішньої порожнини газопроводів відводів гладкими покриттями.

Конкретний ефект від застосування гладких покриттів залежить від ступеня шорсткості труби без покриття. На нашу думку, важливим є кількісне оцінювання ефекту від впровадження труб з гладкими внутрішніми покриттями. Практичний аспект цього питання посилений тим, що у минулому році Харцизький і Волзький трубні заводи освоїли випуск на експорт трубопроводів з внутрішнім епоксидним покриттям.

Зазначені вище дослідження раніше виконувались орієнтовно, за допомогою номограм.

Результати досліджень не були підтвердженні практичним досвідом та статистичними даними.

Методом математичного моделювання, реалізованого за допомогою Microsoft Excel, оцінимо вплив величини абсолютної еквівалентної шорсткості внутрішньої поверхні труб на гідравлічну енерговитратність трубопроводного транспорту газу.

Вихідними рівняннями для досліджень є математичні моделі стаціонарного руху газу в трубопроводі, охарактеризовані у роботі [2]. Для моделювання коефіцієнта гідравлічного опору використаємо формулу, що рекомендована нормами технологічного проектування газопроводів

$$\lambda = 0,067 \left(\frac{158}{Re} + \frac{2k_e}{D} \right)^{0,2}, \quad (1)$$

де: k_e – абсолютна еквівалентна шорсткість внутрішньої поверхні труби;

Re – число Рейнольдса:

$$Re = \frac{17,75Q\Delta}{d\eta}, \quad (2)$$

Q – витрата газу в газопроводі за стандартних умов, млн.м³/д;

Δ – відносна густина газу за повітрям;

d – внутрішній діаметр газопроводу;

η – динамічна в'язкість газу.

За даними експлуатації магістральних газопроводів України приймаємо:

$$\Delta = 0,565; T_{cp} = 300; P_n = 5 \text{ МПа};$$

$$\eta = 12,5 \cdot 10^{-6} \text{ Па} \cdot \text{с}.$$

Дослідження проведемо для модельного газопроводу довжиною $L=100$ км із внутрішніми діаметрами, які відповідають набору стандартних зовнішніх діаметрів труб, що використовуються для магістральних газопроводів: 1420 мм, 1220 мм, 1020 мм, 820 мм, 720 мм і 530 мм.

Номинальним значенням абсолютної еквівалентної шорсткості труб вважаємо значення $k_{ен} = 0,03$ мм. Діапазон зміни абсолютної еквівалентної шорсткості труб при дослідженням приймався від 0,1 мм до 0,005 мм.

Розрахунок проводився методом ітерацій за розробленою нами програмою GAZLAM. Спочатку для кожного із стандартних діаметрів труб методом ітерацій знаходили витрату газу, яка забезпечує повне завантаження газопроводу при максимальному значенні шорсткості $k_e = 0,1$ мм. Повному завантаженню відповідає максимально допустимий перепад тисків у газопроводі $\Delta P = P_n - P_k$.

Далі при знайденій витраті газу для кожного значення абсолютної еквівалентної шорсткості визначався перепад тисків за номінального та фактичного значення шорсткості труб. Після цього розраховувалася відносна зміна енерговитратності перекачування газу модельним газопроводом за формулою

$$\gamma = \frac{(\Delta P_{ке} - \Delta P_{кен})}{\Delta P_{кен}} 100, \%, \quad (3)$$

де: $\Delta P_{ке}$ – перепад тиску в модельному газопроводі за фактичної шорсткості труб;

$\Delta P_{кен}$ – перепад тиску в модельному газопроводі за номінальної шорсткості труб.

Слід зазначити, що програма розрахунку передбачає блок визначення коефіцієнта стисливості газу методом ітерацій.

Результати математичної обробки розрахунків для одного із діаметрів труб зображені на рисунку 1.

Аналіз результатів досліджень засвідчив, що за умови повного завантаження газопроводів відносна зміна енерговитратності перекачування газу у трубі з певною, відмінною від номінального значення, абсолютною еквівалентною шорсткістю, практично не залежить від діаметра. На рисунку 2 зображені результати виконаних нами досліджень для всього діапазону стандартних зовнішніх діаметрів труб.

Методом найменших квадратів одержана узагальнена поліноміальна залежність відносно зміни енерговитратності перекачування газу від величини абсолютної еквівалентної шорсткості труб

$$\gamma = 74226 \cdot k_e^3 - 15201 \cdot k_e^2 + 1703 \cdot k_e - 39,5. \quad (4)$$

У формулу (4) k_e підставляється в міліметрах, результат одержуємо у відсотках. Формула (4) дає змогу прогнозувати гідравлічну енерговитратність перекачування газу газопроводом будь-якого діаметра при абсолютній еквівалентній шорсткості, що не відповідає номінальному значенню. Окрім того, дана залежність дає можливість кількісно оцінити ефективність будь-яких заходів, скерованих на зменшення шорсткості внутрішньої поверхні труб. У першу чергу це стосується використання спеціальних гладких покриттів внутрішньої поверхні труб. Наприклад, визначимо, на скільки зменшиться енерговитратність перекачування газу при зменшенні абсолютної еквівалентної шорсткості труб з 0,03 мм до 0,01 мм. Перепад тиску газу до реконструкції становить $\Delta P_{кен} = 3,5$ МПа.

Із формули (4) маємо:

$$\gamma = 74226 \cdot 0,01^3 - 15201 \cdot 0,01^2 + 1703 \cdot 0,01 - 39,5 = -24\%.$$

Перепад тиску при використанні труб з гладким покриттям буде становити

$$\Delta P_{ке} = 3,5 \cdot 0,76 = 2,7 \text{ МПа}.$$

Таким чином, розрахунок засвідчив, що втрати тиску при перекачуванні газу у модельному газопроводі з гладким покриттям зменшаться на 0,8 МПа.

Слід зазначити, що даний розрахунок не враховує шліфування та обробку зварних швів, оскільки теоретичний розрахунок зазначеного ефекту практично неможливий. Можна тільки припустити, що після якісної обробки зварних стиків (згладжування й покриття) можна переглянути нормативи збільшення гідравлічного

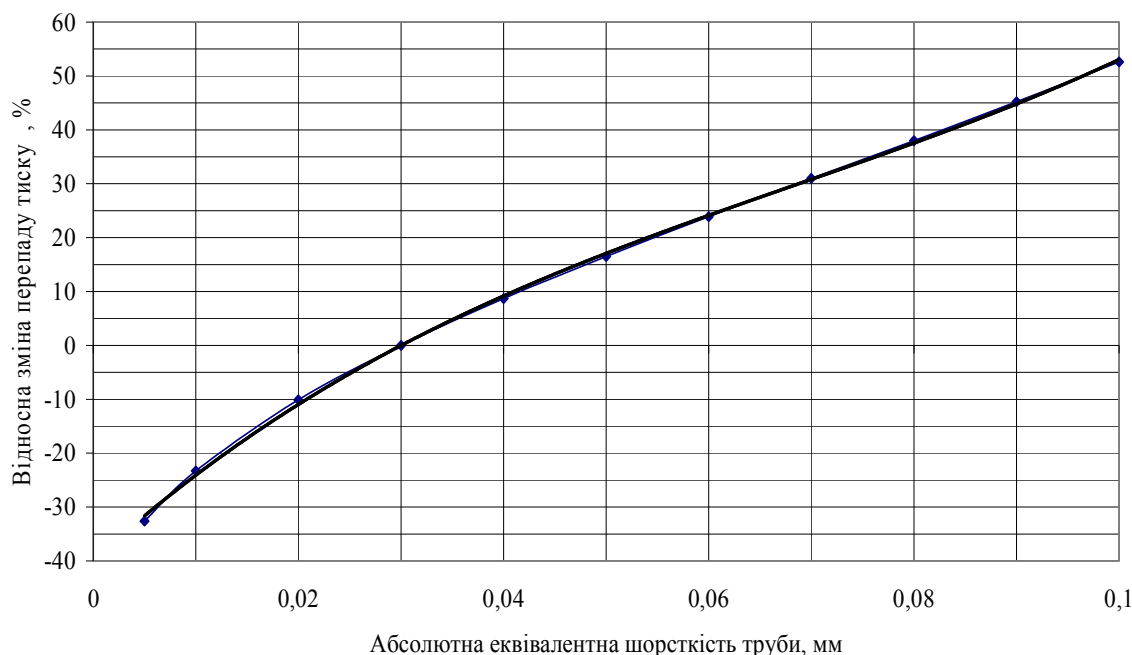


Рисунок 1 — Залежність відносної зміни перепаду тиску на ділянці газопроводу залежно від шорсткості поверхні труб для діаметра 1020 мм за умови повного завантаження

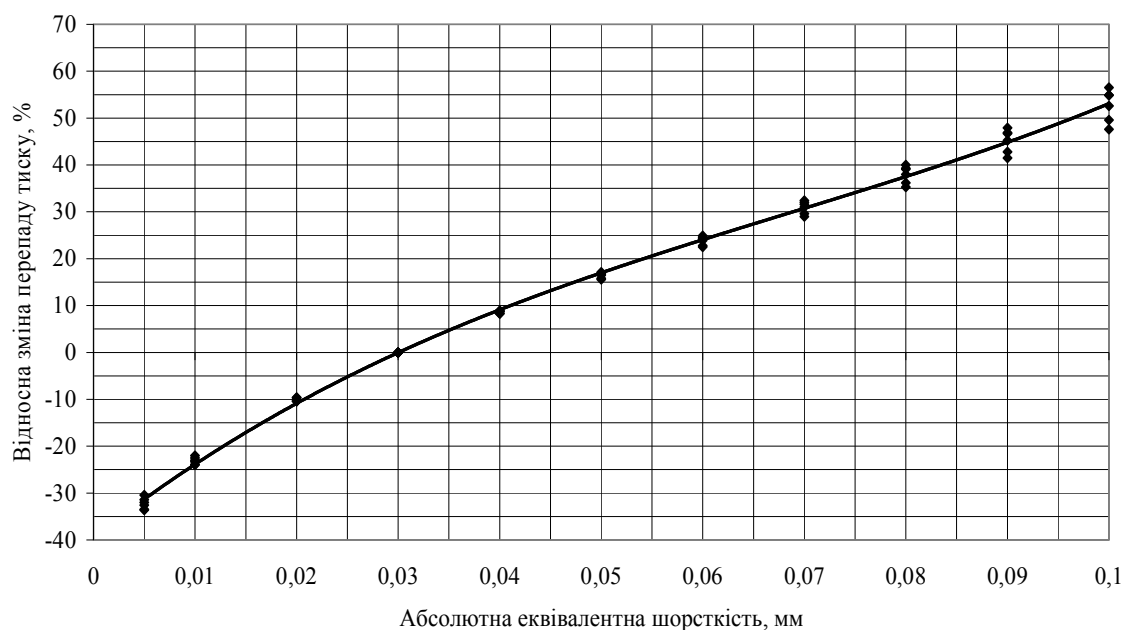


Рисунок 2 – Узагальнена залежність відносної зміни перепаду тиску на ділянці газопроводу залежно від шорсткості поверхні труби за умови повного завантаження для труб із зовнішнім діаметром від 1420 до 530 мм

опору газопроводу для врахування місцевих опорів, які сьогодні складають 5 % [2].

Для оцінювання впливу величини шорсткості внутрішньої поверхні газопроводу на закономірності протікання нестационарних газодинамічних процесів використовуємо розроблені у роботі [1] математичні моделі. Результати математичного моделювання нестационарного руху газу у газопроводі із абсолютною еквівалентною шорсткістю поверхні труби 0,01 мм і 0,05 мм зображені на рисунках 3 і 4 відповідно.

Аналіз одержаних діаграм свідчить про суттєвий вплив величини шорсткості труб на

закономірності протікання нестационарних газодинамічних процесів у газопроводах. Діаграми на рисунках 3 і 4 мають три координати: вертикальна вісь – тиск газу P , горизонтальна площина – лінійна координата x і час t .

Наведене вище дає змогу зробити такі висновки:

1. Світовий досвід упровадження гладких покриттів незаперечно свідчить про доцільність пасивного захисту трубної сталі від корозії, особливо поблизу промислів і підземних сховищ газу.

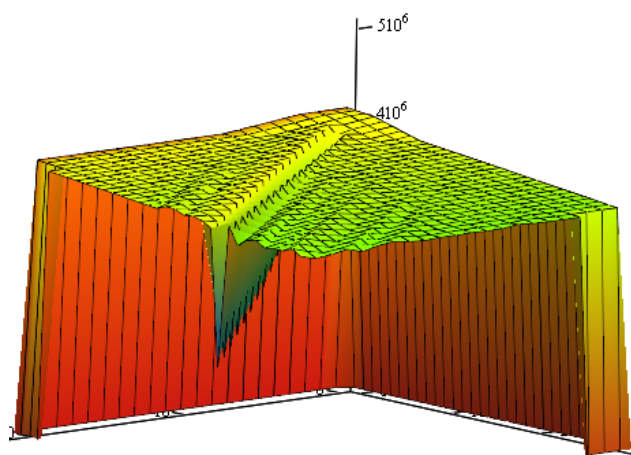


Рисунок 3 – Залежність тиску від координати вздовж газопроводу та часу при абсолютній еквівалентній шорсткості труб 0,01 мм

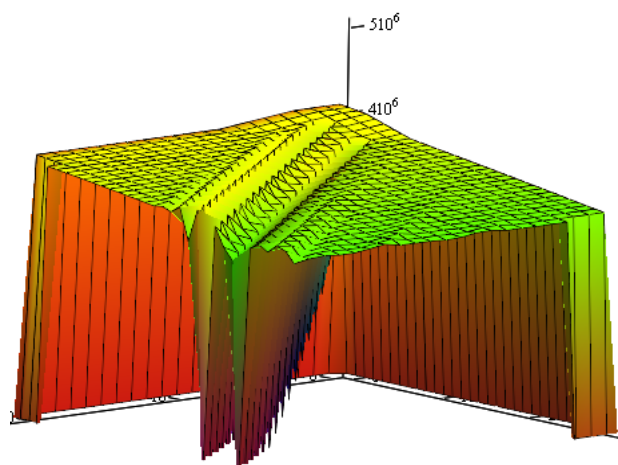


Рисунок 4 – Залежність тиску від координати вздовж газопроводу та часу при абсолютній еквівалентній шорсткості труб 0,05 мм

2. Технологія капітального ремонту і реконструкції газопроводів України, зокрема нормативні вимоги до матеріалів і покриттів нових та старих труб, потребують часткового перегляду відповідно до можливостей та вартості нових технологій.

3. Застосування гладких покриттів внутрішньої поверхні газопроводів дає змогу суттєво зменшити гідравлічну енерговитратність трубопроводного транспорту газу. При застосуванні труб із внутрішнім покриттям з абсолютною еквівалентною шорсткістю $k_e=0,005$ мм втрати тиску зменшуються на 32 % порівняно із застосуванням нових труб без покриття. При заміні старих труб із підвищеною шорсткістю $k_e=0,1$ мм на труби з внутрішнім покриттям шорсткістю $k_e=0,005$ мм втрати тиску зменшуються на 80 %.

4. Використання гладких покриттів внутрішньої поверхні газопровідних труб збільшує надійність роботи фільтрувального, запірного, газорегулювального та запобіжного устаткування, тобто підвищує загалом надійність роботи газотранспортної системи. Це особливо важливо при експлуатації зношеного устаткування ГТС.

Література

1 Фик М.І. Спрощена система газодинамічних рівнянь математичної моделі одностовової лінійної ділянки газопроводу / М. І. Фик // Нафтова і газова промисловість. – 2007. – № 6. – С. 39-43.

2 Середюк М.Д. Визначення пропускної здатності кільканиткового газопроводу при роботі з відкритими перемичками на вході і виході КС / М.Д. Середюк, А.І. Ксенич, М.І. Фик // Науковий вісник Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу. – 2006. – № 2(14). – С.110-118.

Стаття поступила в редакційну колегію
30.01.09

Рекомендована до друку професором
Середюк М.Д.