

ПОВЕДІНКА МАТЕРІАЛУ ТРУБОПРОВОДУ У ГРУНТАХ ІЗ ХЛОРИДНИМ ТИПОМ ЗАСОЛЕННЯ

А.І. Станецький⁽¹⁾, Л.Я. Побережний⁽¹⁾, Л.Я. Побережна⁽²⁾, В.Б. Запухляк⁽¹⁾

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, Україна (1)
ДВНЗ Івано-Франківський національний медичний університет, Україна (2)

The influence of prolonged operation on the deformation behavior of the pipeline material in chloride model environments was studied, and it has been shown that, depending on the level of nominal stresses, the increase in creep deformation, can amount up to 30%. It is also important to consider the possibility of the development of landslides and soil deposition, not only in geodynamic zones, but also in sections of pipelines that pass through saline soils during flood periods.

Вступ. Дослідження деформаційної поведінки матеріалу трубопроводу в умовах навантажень та впливів, які імітують експлуатаційні, дасть змогу краще оцінити залишковий ресурс безпечної експлуатації діючих, та ресурс роботи нових трубопроводів, коректніше прогнозувати експлуатаційні ризики та оцінити рівень потенційних загроз довіллю, спричинених експлуатацією даних технічних об'єктів. Важливо вивчити кінетику деформації у корозійних середовищах, оскільки рівень пошкоджень у результаті синергічної дії механічного та корозійного чинників зростає нелінійно, відповідно так само збільшуються імовірності розгерметизації чи руйнування трубопроводу, а, отже, й пов'язані з цим експлуатаційні ризики.

Аналіз стану проблеми. Значна частина розгалуженої мережі магістральних трубопроводів України перебуває в експлуатації більше 30 років. Зі збільшенням термінів їх експлуатації все актуальнішою стає проблема ефективної та безперервної роботи трубопроводного транспорту, яка забезпечується організацією періодичної технічної діагностики стану елементів трубопроводів та ремонту в місцях виявлених недопустимих дефектів [1-2]. У кожному конкретному випадку допустимість виявленого дефекту вимагає комплексного підходу та відповідних обґрунтувань щодо проведення ремонтно-відновлювальних заходів. Однією з важливих складових такого підходу є визначення напруженого стану трубопроводів у конкретних умовах експлуатації, особливо, в зонах зварних з'єднань, в яких до напружень, зумовлених дією силових факторів, додаються ще й залишкові технологічні напруження, та оцінка їх впливу на міцність і довговічність ділянок труб з дефектами. Особливу увагу при оцінці експлуатаційних ризиків слід приділити газонафтопроводам, які експлуатуються у зсувонебезпечних районах [3]. У таких умовах ризик виникнення нештатних важкопрогнозованих ситуацій найбільший через особливості навантажень та впливів, яких вони зазнають в процесі експлуатації.

Матеріали і методика досліджень. Об'єктом досліджень були вибрані магістральні газопроводи великого діаметру виготовлені зі сталі 17ГС, які були в експлуатації 41 рік. Саме такий матеріал труб широко використовувався при спорудженні магістральних трубопроводів в 70-х роках минулого сторіччя та експлуатуються по даний час. Термін експлуатації був вибраний на основі досліджень професорів Крижанівського Є.І. та Никифорчина Г.М., в яких зазначено що трубопровідні сталі експлуатовані менше 20 років не мають деградації фізико-механічних властивостей, а з терміном експлуатації 20-30 років – деградація є незначною.

Для проведення досліджень УМГ “Київтрансгаз” були надані фрагменти вирізані з нижньої частини труб з ділянок магістральних газопроводу Єфремівка-Диканька-Київ, діаметр 1020 мм роки експлуатації – 1967-2008. Для дослідження корозійних процесів під напруженням використовували розроблену раніше комп'ютеризовану установку КН-1 [4]. Випробовування зразків з матеріалу труб газопроводів на повітрі та в рідких робочих середовищах проводили в режимі статичного та повторно-статичного навантаження чистим

згином з автоматичною реєстрацією прогину зразка та зміни електродного потенціалу за допомогою ЕОМ, використовуючи 24-бітне аналого-цифрове перетворення.

Результати та їх обговорення. На повітрі спостерігаємо зростаючу кінетику (рис. 1, а) із затуханням процесу на останній стадії та виходом стабільну ділянку як для матеріалу в стані поставки, так і для експлуатованого. Приріст деформації знаходиться в межах 15...20 %. Такі тенденції не становлять небезпеки, з чого можна зробити висновок, що несуча здатність трубопроводу, який в процесі 40 років експлуатації не піддавався дії корозивного середовища зміниться незначно. Однак на практиці, беручи до уваги недосконалість протикорозійних покриттів, які використовувалися при будівництві магістральних трубопроводів наприкінці 60-х та в 70-х роках минулого століття, така ситуація є скоріше гіпотетичною. Випробовування на повітрі мало на меті стати головним чином відправною точкою для виокремлення впливу корозивного середовища на кінетику деформації сталі трубопроводу на пізній стадії експлуатації. Зі збільшенням величини напружень процеси деформування проходять з більшою швидкістю. При найвищих рівнях напружень на кривій деформації спостерігаються циклічні прискорення. Причому характерно, що для деградованого матеріалу вони різкіші і починають появлятися при нижчих рівнях напружень. Така поведінка тривалоексплуатованої сталі трубопроводу може бути пояснена розвитком мікротріщин та внутрішніх структурних дефектів, наслідком якого є прискорене деформування.

Оскільки в тривалоексплуатованому матеріалі трубопроводу значно вищий інтегральний показник кількості пошкоджень, в тому числі і мікротріщин в зародковому стані, то величина прикладених напружень, необхідна для їх розвитку буде нижчою. Окремо слід урахувати і структурну деградацію металу, утворення мікропорожнин та ймовірне наводнювання в результаті тривалої дії експлуатаційних середовищ. Сукупність цих чинників і призводить до зменшення здатності чинити опір деформаціям, а погіршення в процесі тривалої експлуатації характеристик тріщиностійкості несе в собі загрозу підвищеної чутливості до дії корозивних середовищ та розвитку процесів корозійного розтріскування.

Постає питання прогнозування розвитку виявлених деформаційних процесів під час довготривалої експлуатації трубопроводів. Одним із параметрів тут може слугувати кут нахилу завершальної ділянки деформаційної кривої. За його показником можна судити про рівень затухання процесу. Низькі показники відповідатимуть незначній небезпеці розвитку процесу, високі ж свідчатимуть про досить значні ризики виникнення позаштатних ситуацій.

Даний показник може бути використаний не тільки для випробовувань на повітрі, але і для корозійно-механічних досліджень. У цьому випадку даний показник додатково слугуватиме маркером чутливості матеріалу трубопроводу до тривалої дії експлуатаційного середовища. Характер розвитку деформаційних процесів у МС1-МС3 (рис. 1, б-г) порівняно із повітрям значно не змінюється. Фіксуємо зростання приростів деформації із збільшенням рівня прикладених напружень. На відміну від повітря, у досліджуваних середовищах не спостерігається циклічних прискорень-сповільнень деформування, що може бути пояснено дією ефекту Ребіндера.

Кути нахилу завершальних ділянок зростають, що свідчить про більшу прогнозну тривалість розвитку деформаційних процесів в умовах впливу експлуатаційного середовища.

Такі зміни у характері деформаційних процесів можна пояснити спільною дією двох чинників – рівня прикладених механічних напружень та корозивної дії середовища. Причому роль корозивного середовища є визначальною, про що свідчить порівняння з кінетичними кривими на повітрі. Проаналізувавши показники приросту деформацій та кутів нахилу завершальних ділянок кривих можемо зробити висновок, що для трубної сталі 17ГС у стані поставки найнебезпечнішими у даній групі середовищ будуть МС2 та МС3.

Процеси тривалої дії ґрунтового електроліту на сталь трубопроводу полегшує розвиток поверхневих дефектів, отриманих на стадії виробництва та укладання. Також взаємодія з корозивним середовищем є причиною збільшення пошкодженості поверхні труби, що виражається в утворенні та розвитку корозійних уражень. Тому при оцінці працездатності трубопроводу та з метою її забезпечення при тривалій дії експлуатаційних

середовищ необхідно враховувати вплив корозійного та механічного чинників на експлуатаційні характеристики труб, що тягне за собою необхідність проведення додаткових моніторингових заходів на ділянках, які проходять через високомінералізовані ґрунти. Якщо порівняти деформаційну поведінку експлуатованого та неексплуатованого матеріалу, неважко помітити збереження зафіксованої на повітрі тенденції приросту абсолютної величини деформації повзучості. Водночас у всіх модельних середовищах, на відміну від повітря, незброєним оком фіксуємо тенденцію збільшення абсолютного приросту деформації повзучості і з зростанням рівня номінальних напружень. Збільшення концентрації корозивних компонентів у модельних середовищах викликає незначне зростання абсолютної величини деформації повзучості, більш небезпечним є зростання кута нахилу завершальної ділянки кривої повзучості при найнижчих рівнях напружень (табл. 1). Така тенденція особливо небезпечна з огляду на те, що трубопровід у такому режимі повинен експлуатуватися значний період часу, що може призвести до підвищення ризику виникнення аварійних ситуацій.

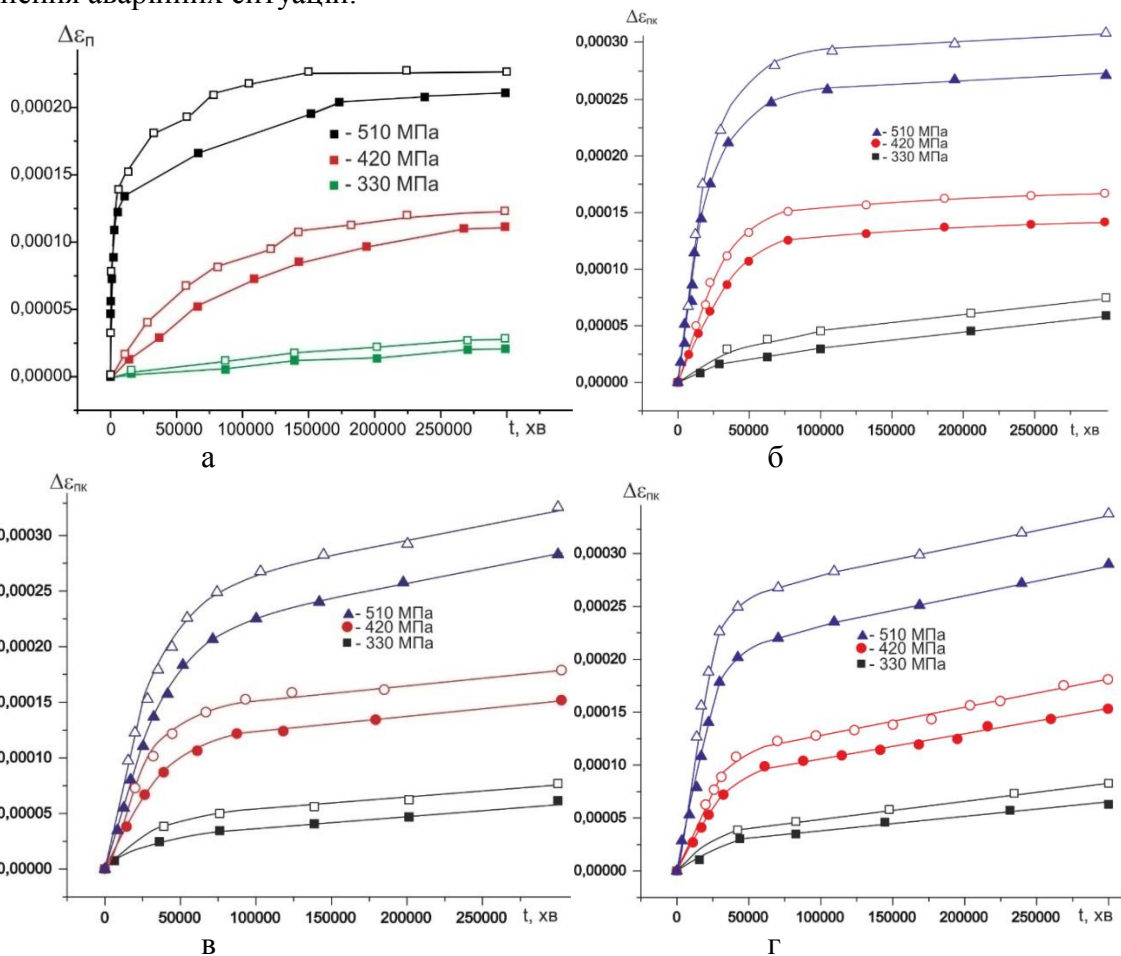


Рис. 1. Кінетика деформації матеріалу трубопроводу на повітрі (а), МС1-3 (б-г):
 ■ – сталь в стані поставки, □ – 41 рік експлуатації

Занепокоєння викликає не тільки сам факт збільшення кута нахилу завершальних ділянок кривих для тривалоексплуатованого металу трубопроводу, а й величина цього приросту, яка за екстремальних навантажень може сягати 2,5-3,2 рази, що небезпечно зменшення показників живучості для тривалоексплуатованої сталі. Навіть за найменших досліджуваних напружень показники приросту кута нахилу знаходяться у межах 28-41%, що свідчить про підвищену чутливість до тривалої дії експлуатаційних середовищ, і вимагає вживати запобіжних заходів для забезпечення працездатності трубопроводів у таких умовах.

Потрібно постійно розширювати сортамент досліджуваних сталей для нагромадження масиву даних із метою розробки концепції корозійного моніторингу трубопроводів та комплексу заходів із забезпечення їх надійної роботи при тривалій дії експлуатаційних середовищ (ґрунтових електролітів, підтоварної води тощо).

Таблиця 1 – Кути нахилу завершальних ділянок кривих деформації сталі 17ГС у МС

МС	Неексплуатована труба			41 рік експлуатації		
	330 МПа	420 МПа	510 МПа	330 МПа	420 МПа	510 МПа
1	6,532	1,729	2,845	6.817	2.791	3.707
2	4,683	5,776	10,995	5.3	6.6	12.7
3	5,992	9,88	12,035	7.8	12.1	13.1

Проаналізовано характер та причини просідань ґрунту з хлоридним типом засолення. За результатами розрахунків отримані залежності концентрації солей в рідині та питомого обсягу солей по товщині ґрунту з плином часу для випадків дисперсного та плівкового засолення.

Запропоновано спрощену математичну модель просідання засоленого ґрунту внаслідок вилугування. Розраховано величини просідання ґрунту для різних рівнів засолення (рис. 2).

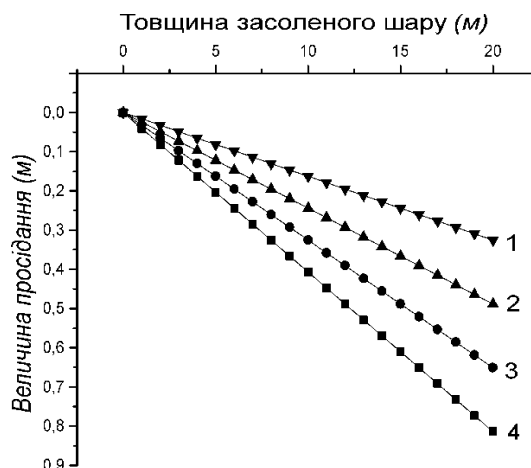


Рис. 2. Залежність глибини просідання від рівня та глибини засоленості:

1- $D_{sal}=0,02$, 2- $D_{sal}=0,03$, 3- $D_{sal}=0,04$, 4- $D_{sal}=0,05$.

Висновки. Таким чином, в результаті проведених досліджень вивчено вплив тривалої експлуатації на деформаційну поведінку матеріалу трубопроводу у хлоридно-сульфатних модельних середовищах, і показано, що залежно від рівня номінальних напружень приріст деформації повзучості порівняно з неексплуатованою сталлю може складати до 30%.

Водночас, загальний приріст деформації для експлуатованого протягом 40 років матеріалу трубопроводу лежить в межах 3...7% сам по собі не є достатньо небезпечним. Основні ризики полягають у кумулятивній дії кількох чинників (зменшення несучої здатності, погіршення характеристик тріщиностійкості, вплив наводнювання тощо), за якої будь-яке погіршення експлуатаційних характеристик може стати фатальним.

Важливо також ураховувати можливість розвитку зсувів і просідань ґрунту не лише в геодинамічних зонах, а й на ділянках трубопроводів, які проходять через засолені ґрунти у паводкові періоди.

Література

1. Макаренко В.Д. Аналіз і оцінювання працездатності та тріщиностійкості зварних трубопроводів / В.Д. Макаренко, В.Ю. Чернов, Є.Д. Крижанівський, М.М. Прохоров // Нафтова і газова промисловість. - 2003. - №4. - С. 47 - 50.
2. Банахевич Ю.В. Аналіз причин відмов і зупинок газопроводів в ГТС УМГ "Львівтрансгаз" / Ю.В. Банахевич, В.В. Вільчанський У Інформаційний огляд ДК "Укртрансгаз", 2007. - № 5 (47). - С. 7 - 9.
3. Крижанівський Є.І., Рудко В.П., Шацький І.П. Оцінка допустимих навантажень на трубопровід у зоні сповзання ґрунту // Фіз.-хім. механіка матеріалів. 2004. №4. С. 98-100.
4. Побережний Л.Я. Ранжування ґрунтів за небезпекою втрати несної здатності трубопроводами на пізній стадії експлуатації / Л.Я. Побережний, А.І. Станецький // Науковий вісник НЛТУ України. – 2016. – Вип. 26.1.- С. 280-286.