

ДЕФОРМАЦІЙНА ПОВЕДІНКА ТРУБНИХ СТАЛЕЙ У ВИСОКОМІНЕРАЛІЗОВАНИХ ҐРУНТАХ

А. І. Станецький

Івано-Франківський НТУ нафти і газу, м. Івано-Франківськ, Україна

Для забезпечення експлуатації нафтогазопроводів та прогнозування їх ресурсу (залишкового ресурсу) роботи, коректного оцінювання експлуатаційних ризиків надзвичайно важливим є вивчення особливостей корозійної деградації матеріалу лінійної частини підземних трубопроводів у ґрунтах різних типів. Об'єктом наших досліджень вибрано магістральні газопроводи великого діаметра, виготовлені зі сталі 17ГС, які були в експлуатації понад 40 років. Отримані результати свідчать про значні ризики виникнення позаштатних ситуацій у кислих високомінералізованих ґрунтах, зокрема із одночасним вмістом хлоридів та сульфатів. Ця проблематика потребує подальшого вивчення шляхом фізичного моделювання процесів взаємодії трубопроводів із ґрунтовим електролітом. Значну увагу потрібно приділити оптимізації протикорозійного захисту, зокрема величини захисного потенціалу катодних станцій.

Ключові слова: магістральні трубопроводи, безпечна експлуатація, позаштатні ситуації, деформаційна поведінка.

Вступ. Газотранспортний комплекс України – це понад 35000 км магістральних трубопроводів та біля 200000 км розподільчих мереж. Наша газотранспортна система – органічне продовження російської. Їх об'єднує спільна мета – транспортування сибірського газу до Європи. Вона є диверсифікаційним джерелом, яке забезпечує понад 30 % потреби держави в газі та об'єктом особливої відповідальності. Це зобов'язує нас експлуатувати газотранспортну систему на оптимальних режимах з високою експлуатаційною надійністю, що зумовлює нагальну потребу виконувати великий обсяг науково-дослідних робіт безпосередньо на функціональних об'єктах.

Враховуючи, що основні фонди трубопровідного транспорту, як і будь-які технічні об'єкти, старіють, деградація магістральних трубопроводів проходить із наростаючою швидкістю. Основні газо- та нафтопроводи було побудовано в 1960-1990 рр. Близько половини з них перебувають в експлуатації понад 20 років, а близько чверті – понад 30. Збільшення терміну безпечної служби таких трубопровідних систем – надзвичайно важлива науково-технічна проблема.

Для забезпечення експлуатації нафтогазопроводів та прогнозування їх ресурсу (залишкового ресурсу) роботи, коректного оцінювання експлуатаційних ризиків надзвичайно важливим є вивчення особливостей корозійної деградації матеріалу лінійної частини підземних трубопроводів у ґрунтах різних типів. Раніше проведені дослідження показали, що найнебезпечнішими є кислі ґрунти із високим ступенем мінералізації (Romaniv, & Nikiforchin, 1986; Poberezhnyj et al., 2010).

Мета роботи – дослідження тривалої дії високомінералізованих кислих середовищ та терміну роботи на деформаційну поведінку матеріалу магістральних трубопроводів.

Матеріали і методи дослідження. Об'єктом досліджень вибрано магістральні газопроводи великого діаметра, виготовлені зі сталі 17ГС, які були в експлуатації понад 40 років. Цю трубу сталь на її аналоги широко використовували для спорудження трубопроводів у 60-х роках ХХ ст. Для дослідження корозійних

процесів під напруженням використовували розроблену раніше комп'ютеризовану установку КН-1 (Poberezhnyj, Staneckij, & Marushhak, 2013). Випробовування зразків з матеріалу труб газопроводів на повітрі та в рідких робочих середовищах (табл. 1) проводили в режимі статичного та повторно-статичного навантаження чистим згином з автоматичною реєстрацією прогину зразка. Для вивчення кінетики деформації, базуючись на результатах попередніх досліджень (Poberezhnyj et al., 2010) та з метою їх кращого порівняльного аналізу, вибрано аналогічні рівні номінальних напружень, що становлять 330, 420 та 510 МПа.

Табл. 1. Склад модельних середовищ для випробовувань

№ МС	Концентрація, моль/л				Тип ґрунтового електроліту
	NaCl	Na ₂ SO ₄	HCl	H ₂ SO ₄	
1	0,005	0,005	–	0,000005	підкислений
2	0,025	0,025	–	0,00005	хлоридно-сульфатний
3	0,05	0,05	–	0,0005	

Результати та їх обговорення. У досліджуваних експлуатаційних середовищах (рис. 1-3) спостерігаємо кінетику повзучості одночасно подібну і до нейтральних середовищ відповідного мінерального складу, і до кислих електролітів із відповідним рівнем рН.

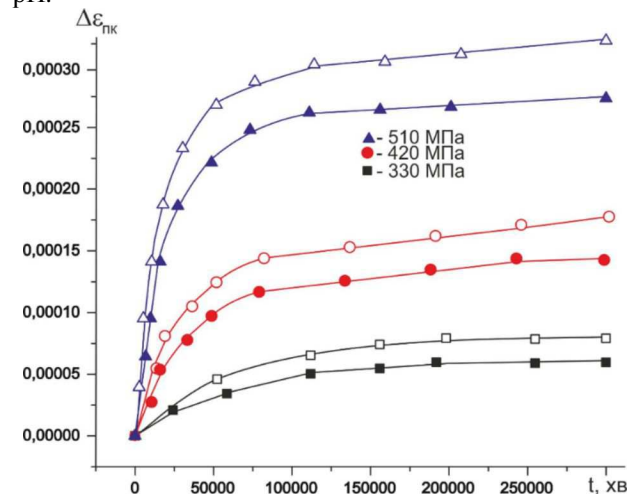


Рис. 1. Кінетика деформації матеріалу трубопроводу у МС1: ■ – сталь у стані поставки; □ – 41 рік експлуатації

У МС1, значення рН в якому дорівнює 5, спостерігаємо приріст деформації від 5 до 15 % (див. рис. 1), залежно від рівня номінальних напружень, фіксуємо також збільшення кута нахилу завершальної ділянки кривої, що вказує на небезпеку подальшої втрати матеріалом здатності чинити опір тривалим навантаженням.

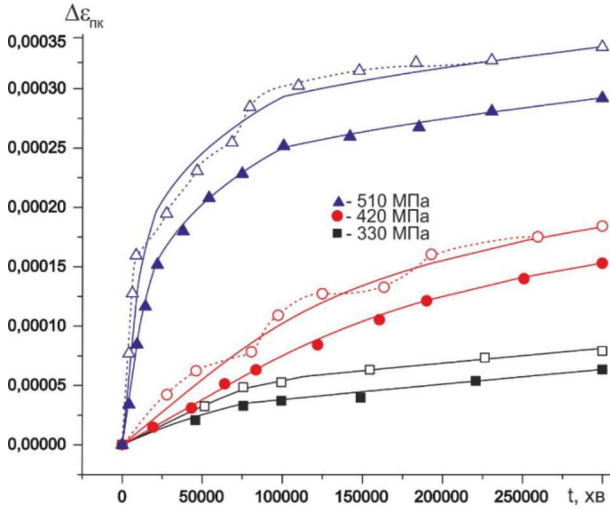


Рис. 2. Кінетика деформації матеріалу трубопроводу у МС2: ■ – сталь у стані поставки; □ – 41 рік експлуатації

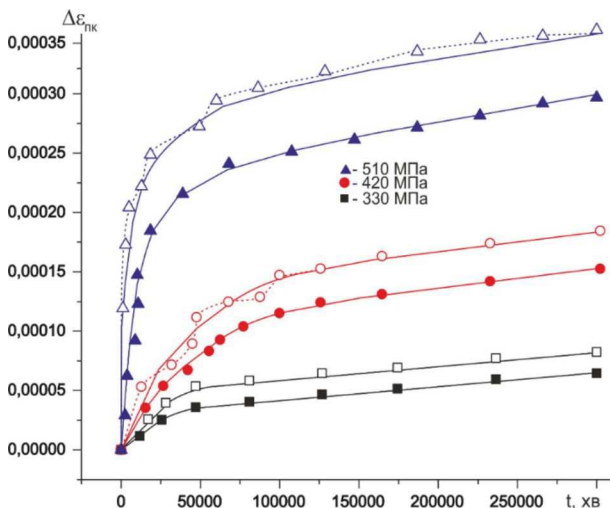


Рис. 3. Кінетика деформації матеріалу трубопроводу у МС3: ■ – сталь у стані поставки; □ – 41 рік експлуатації

Відчутних пришвидшень процесу деформування не спостерігаємо, небезпека виникнення локальних корозійних уражень, які можуть стати наскрізними, невелика, що пов'язано із переважанням механізму кисневої деполяризації і незначним наводнюванням. Порівняно із хлоридними електролітами з аналогічним рН спостерігаємо збільшення абсолютного приросту деформації, що вказує на вищі експлуатаційні ризики в таких середовищах.

За подальшим зменшенням рН до 4 (МС2) фіксуємо істотні деформаційні стрибки (див. рис. 2). Особливо помітні вони в області високих напружень, що пояснюють впливом механічного чинника на фоні водневого окрихчення. Виразно спостерігаємо цикли прискорення-сповільнення деформації, які відповідають циклам росту тріщини. Найінтенсивніші вони на першому етапі експозиції, далі швидкість приросту

деформації спадає. Це пов'язано з притупленням вершин корозійних тріщин внаслідок збільшення швидкості розчинення матеріалу трубопроводу та відповідним зменшенням рівня концентрації напружень у їх вершинах.

Приріст деформації становить 9-20 %, однак внаслідок локалізації корозійних процесів підвищується небезпека розгерметизації і, як наслідок – часткової втрати працездатності, насамперед розподільчими трубопроводами. Порівняно з підкисленими хлоридними середовищами, фіксуємо більший абсолютний та відносний приріст деформації, а також приріст висоти деформаційних стрибків, що, скоріше за все, зумовлено зростанням локалізації корозійних процесів.

Одночасно за 330 МПа при переході від МС1 до МС2 кінетика залишається монотонною, однак збільшення кута нахилу завершальної ділянки свідчить про інтенсифікацію корозійно-механічної деградації поверхні тривалоексплуатованої сталі трубопроводу, проте така тенденція не є загрозливою за умови проведення належних моніторингових заходів на ділянках пролягання трубопроводу через ґрунти з підвищеною корозійною активністю (Poberezhnyj, & Staneckuj, 2011).

Деформаційна поведінка тривалоексплуатованої сталі у МС3 за рН 3 є більш прогнозованою (див. рис. 3). Цикли прискорення-сповільнення деформації присутні, але швидкість їх розвитку нижча, ніж у МС2. Це зумовлено значною хімічною активністю середовища, яка призводить до швидкого притуплення вершини тріщини.

Проте тут фіксуємо найбільший абсолютний приріст деформації. Порівняно з підкисленими хлоридними середовищами, як і в МС2, спостерігаємо збільшення абсолютного та відносного приростів деформації та збільшення кута нахилу завершальної ділянки, що зайвий раз підтверджує найбільшу корозійну активність цього середовища, яка, підсилена дією механічного чинника, може призвести до позаштатних та навіть аварійних ситуацій у районах з підвищеною небезпекою зсувів. Причому ризик їх виникнення є не тільки у гірських областях, про що свідчать дані розслідування аварії на трубопроводі "Уренгой-Помари-Ужгород" у 2008 р. та аварія на трубопроводі "Прогрес" у 2016 р.

Також, беручи до уваги значну агресивність середовища, неважко спрогнозувати значні ризики розгерметизації внаслідок швидкого розчинення металу в зонах пошкодження ізоляційного покриття. Якщо при цьому враховувати можливість виникнення макрогальванічних елементів вздовж траси трубопроводу та вплив змінного та наведеного струмів, то ситуація стає загрозливою (табл. 2).

Табл. 2. Кути нахилу завершальних ділянок кривих деформації у МС 1-3

МС	Неексплуатована труба			41 рік експлуатації		
	330 МПа	420 МПа	510 МПа	330 МПа	420 МПа	510 МПа
1	1,893	2,305	3,901	2,9	3,3	5,975
2	5,488	6,496	7,92	5,645	7,794	9,331
3	5,056	7,146	9,597	5,719	8,096	10,299

Висновки. Отримані результати свідчать про значні ризики виникнення позаштатних ситуацій у кислих високомінералізованих ґрунтах, зокрема із одночасним вмістом хлоридів та сульфатів. Ця проблематика потребує подальшого вивчення шляхом фізичного моделювання процесів взаємодії трубопроводів з ґрунтовим електролітом. Значну увагу потрібно приділити оптимізації протикорозійного захисту, зокрема величини захисного потенціалу катодних станцій.

Перелік використаних джерел

Poberezhnyj, L. Ya., & Staneckij, A. I. (2011). Korozijno-mehanična degradacija magistralnyh gazoprovodiv. *Naftova i gazova promyslovist, 1*, pp. 36-38. [In Ukrainian].

Poberezhnyj, L. Ya., Staneckij, A. I., Pyrig, T. Yu., & Melnyk, O. D. (2010). Metodyka vyznachenja oblastej pidvyshhenoi korozijnnoi aktyvnosti vzdovzh tras proljagannja magistralnyh gazo-naftoprovodiv. *Rozvidka ta rozroblennja gazovyh ta naftovyh rodovyshh, 4(37)*, pp. 118-123. [In Ukrainian].

Poberezhnyj, L. Ya., Staneckij, A. I., & Marushhak, P. O. (2013). Zmina nesuchoi zdatnosti materialu magistralnyh gazoprovodiv vnaslidok eksploatacijnnoi degradacii. *Naftogazova energetyka – 2013: Proceedings of the conference*, Ivano-Frankivsk, October 7-11, 2013. (pp. 451-253). Ivano-Frankivsk: Ivano-Frankivskij nacionalnyj tehničnyj universytet nafty i gazu. [In Ukrainian].

Romaniv, O. N., & Nikiforchin, G. N. (1986). *Mehanika korrozionnogo razrushenija konstrukcionnyh splavov*. Moscow: Metallurgija, p. 296. [in Russian].

A. И. Станецкий

ДЕФОРМАЦИОННОЕ ПОВЕДЕНИЕ ТРУБНЫХ СТАЛЕЙ В ВЫСОКОМИНЕРАЛИЗОВАННЫХ ПОЧВАХ

Для обеспечения безопасной эксплуатации нефтегазопроводов и прогнозирования их ресурса (остаточного ресурса) работы, корректной оценки эксплуатационных рисков чрезвычайно важно изучение особенностей коррозионной деградации материала линейной части подземных трубопроводов в ґрунтах различных типов. Объектом наших исследований выбраны магистральные газопроводы большого диаметра, изготовленные из стали 17ГС, которые были в эксплуатации более 40 лет.

Полученные результаты свидетельствуют о значительных рисках возникновения внештатных ситуаций в кислых высокоминерализованных почвах, в том числе с одновременным содержанием хлоридов и сульфатов. Данная проблематика требует дальнейшего изучения путем физического моделирования процессов взаимодействия трубопроводов с ґрунтовым электролитом. Особое внимание необходимо уделить оптимизации антикоррозионной защиты, в частности величины защитного потенциала катодных станций.

Ключевые слова: магистральные трубопроводы, безопасная эксплуатация, внештатные ситуации, деформационное поведение.

A. I. Stanetskyj

PIPELINE STEELS STRAIN BEHAVIOUR IN HIGH MINERALIZED SOILS

The study of the features of corrosion degradation of the linear material underground pipelines in soils of different types is important to ensure the safe operation of gas pipelines and forecasting of resource (residual life) work correctly assesses operational risks. Our research aims at studying of long-acting and highly acidic medium term work on the deformation behaviour of the material pipelines. We have chosen main gas pipelines of large diameter made of steel 17HS that have been in operation for over 40 years as the object of the study. Test samples of pipelines material for air and liquid environments performed in static mode and re-load static pure bending with automatic registration trough design. To study the kinetics of deformation based on the results of previous studies and to improve their comparative analysis, we selected a similar level of nominal voltages that are 330, 420 and 510 MPa. In addition, in ME1, The pH of which is equal to 5, witnessing growth of strain from 5 to 15 percent, depending on the nominal stress fix and increase the angle of inclination of the final section of the curve, which indicates the danger of further loss of material's ability to resist prolonged stress. In the decreasing pH to 4 (ME2) fix significant deformation jumps occurred. Long term exploited steel deformation behavior in ME3 at pH 3 is more predictable. Cycles acceleration-deceleration strain are present, but their rate is lower than ME2. Furthermore, giving the significant aggressive environment, it is easy to predict significant risks due to rapid decompression of the metal in areas of damaged coating. Thus, the results of the research indicate significant risks of emergency situations in highly acidic soils, especially with simultaneous maintenance of chlorides and sulphates. This problem requires further investigation by physical simulation of processes of interaction of pipelines with soil electrolyte. Special attention should be paid to optimization of corrosion protection, including the value of the protective potential of cathodic stations.

Keywords: pipelines; safe operation; emergency situations; deformation behaviour.

Інформація про автора:

A. I. Станецкий, канд. техн. наук, заст. начальника ВК, Івано-Франківський НТУ нафти і газу, м. Івано-Франківськ, Україна.

E-mail: ais110876@ukr.net