

# ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НАДІЙНОЇ РОБОТИ ТРИВАЛОЕКСПЛУАТОВАНИХ ДОВГОМІРНИХ ОБ'ЄКТІВ

Л. Я. Побережний(1), А.І. Станецький(1), Т.Ю. Пиріг(1), Р. В. Кубаль(2)

(1) Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

(2) ЗСУ, Центральне управління забезпечення пально-мастильними матеріалами Збройних Сил України Тилу Збройних Сил України

Long-term industrial facilities (oil, gas, steam and product pipelines) are complex technological complexes. Their use ensures uninterrupted transportation of liquids and gases. Improving the reliability and performance of such systems is an important issue. The corrosion-mechanical behavior of prolongedexplosive tubular steels in acidic soils was studied and a soil leveling was performed according to the level of corrosion hazard.

Вступ. Довгомірні промислові об'єкти (нафто-, газо-, паро- та продуктопроводи) є складними технологічними комплексами. Їх використання забезпечує безперервне транспортування рідин та газів. Підвищення надійності та роботоздатності таких систем є важливою проблемою, оскільки вони експлуатуються тривалий період за умов високих тисків та корозійного впливу середовищ. Роботоздатність довгомірних промислових об'єктів залежить від своєчасного виявлення пошкоджень в металі навіть на структурному рівні, або можливості їх прогнозування. Крім експлуатаційних чинників та агресивного впливу навколишнього середовища, існує підвищена небезпека пошкодження внаслідок навмисних шкідливих дій (саботаж, теракт) або через влучання снарядів чи мін через регулярне недотримання бойовиками ОРДЛО мирних домовленостей. У таких умовах оцінка поведінки матеріалу труб не тільки за експлуатаційних, а й за екстремальних рівнів навантаження є доволі актуальною [1, 2].

**Матеріали і методи.** Об'єктом досліджень вибрано магістральні трубопроводи на пізній стадії експлуатації, виготовлені зі сталі 17ГС та 19Г. Вирізки фрагментів труб, які були в експлуатації 41 рік, надано УМГ «Київтрансгаз». Для вивчення матеріалу в стані поставки використовувались труби аварійного резерву. Згідно теорії ранжування, всі джерела загроз мають різну ступінь небезпеки, яку можна кількісно оцінити, провівши їх ранжування. При цьому оцінка ступеня небезпеки проводиться за непрямими показниками, вибір яких напряму прив'язаний до умов роботи об'єкта. Для випробовувань вибрано шість модельних середовищ (табл. 1).

Таблиця 1 – Хімічний склад модельних середовищ для корозійних випробовувань

№ МС	Концентрація, моль/л			
	NaCl	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	HCl	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>
1	0,01	-	0,00001	-
2	0,05	-	0,0001	-
3	0,1	-	0,001	-
4	0,005	0,005	-	0,000005
5	0,025	0,025	-	0,00005
6	0,05	0,05	-	0,0005

Раніше було проведено вивчення впливу тривалої експлуатації на опір деформаціям матеріалу трубопроводу. Отримані у роботах [1, 2] використано нами для ранжування ґрунтів за небезпекою розвитку корозійних процесів.

**Результати та їх обговорення.** Для поглибленого аналізу отриманих результатів доцільно представити їх у графічному вигляді (рис. 1 – 4). Такий методичний підхід дасть змогу кращого унаочнення і спростить виділення найнебезпечніших типів ґрунтових електrolітів [3, 4]. Найбільш небезпечними для деградованих матеріалів є кислі середовища,

ранжування яких за характеристичними показниками було наступним етапом нашого дослідження. Аналіз отриманих результатів у підкислених хлоридних ґрунтових електролітах показав істотний вплив механічного чинника, причому із збільшенням величини номінальних напружень інтенсивність деформаційних процесів зростає як для сталі 17ГС так і для 19Г (табл. 2, 3). Відносні показники у балах для обох сталей теж різняться незначно, що вказує на схожість причин і механізмів деформування внаслідок впливу тривалої експлуатації. Бачимо зростання бальності показників із зменшенням рівня рН (збільшенням кислотності) у обох випадках, що вказує на контролюючу роль рівня рН у розвитку деформаційних процесів (табл. 2). Однак для оцінки рівня небезпеки процесу важливими є не тільки абсолютні показники, а й їх приріст в результаті дії досліджуваних чинників. Проаналізувавши дані приростів деформації, фіксуємо значні відмінності у поведінці деградованих трубопровідних сталей. Зокрема, для сталі 17ГС можна відзначити цікаву особливість – у МС3, МС4 та МС5 найбільший приріст деформації відповідає не найвищому (510 МПа), а середньому (420 МПа) рівню напружень, у той час як при переході до МС6 поведінка матеріалу стає стандартною (збільшення деформацій прямо пропорційне збільшенню напружень).

Таблиця 2 – Ранжування кислих ґрунтових електролітів за абсолютним значенням деформації

МС	Сталь 17ГС			Сталь 19Г		
	330 МПа	420 МПа	510 МПа	330 МПа	420 МПа	510 МПа
1	2,08	4,09	7,89	2,01	4,51	9,01
2	2,09	4,43	8,71	2,06	4,59	10,42
3	2,15	5,26	9,57	2,23	5,41	10,73
4	2,13	5,01	9,43	2,28	5,35	10,59
5	2,14	5,17	9,57	2,32	5,77	11,27
6	2,23	5,29	10,29	2,39	5,86	11,83

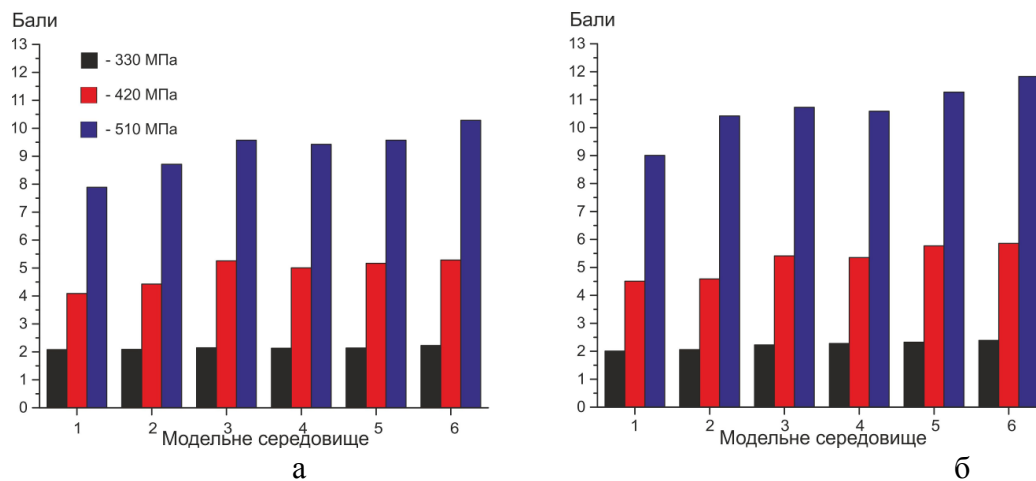


Рисунок 1 – Відносні показники рівня деформації у МС: а – 17ГС, б – 19Г.

Таблиця 3 – Ранжування кислих ґрунтових електролітів за приростом деформації

МС	Сталь 17ГС			Сталь 19Г		
	330 МПа	420 МПа	510 МПа	330 МПа	420 МПа	510 МПа
1	2,35	2,46	2,79	3,55	4,38	7,76
2	2,73	2,37	2,64	3,59	4,29	9,01
3	1,88	5,5	3,82	3,01	8,11	8,77
4	1,94	4,44	3,5	3,63	7,56	8,46
5	1,67	2,94	2,72	3,3	7,04	5,92
6	1,75	2,99	3,5	3,29	6,72	6,92

Така поведінка матеріалу свідчить про підвищені ризики виникнення позаштатних ситуацій у зсувонебезпечних районах та місцях із значними коливаннями вологості. Друга небезпечна особливість – відносні прирости деформації для сталі 19Г значно перевищують показники для 17ГС, а взявши до уваги незначні відмінності в абсолютних показниках контрольних зразків, можемо зробити висновок про значно більшу чутливість деградованої сталі 19Г до показників рН середовища.

Показники бальності відрізняються до 2-х разів, що свідчить про необхідність оптимізації режимів роботи тривалоексплуатованих трубопроводів із сталі 19Г у кислих ґрунтах, характерних для Західної України та Полісся. Найнебезпечнішими середовищами за показником відносного приросту деформації для сталі 17ГС будуть МС3 (кисле хлоридне) та МС4 (кисле хлоридно-сульфатне). Також потрібно звернути увагу на МС2, де відносний приріст найбільший при мінімальному рівні напружень, які можуть відповідати штатним умовам експлуатації. У підкислених хлоридно-сульфатних електролітах додаткова небезпека пов'язана із локалізацією корозійних процесів та розвитком мікротріщин, про що свідчать деформаційні скачки на кінетичних кривих.

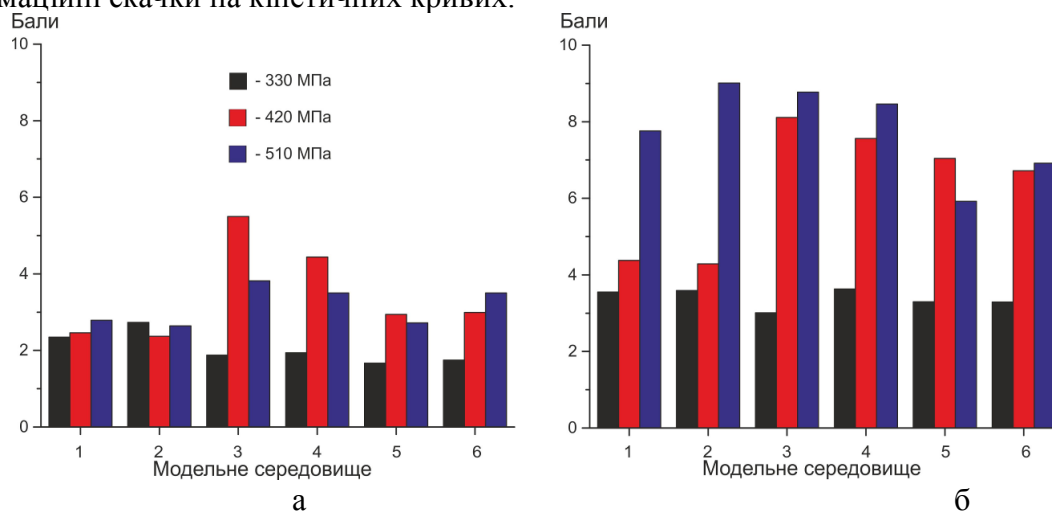


Рисунок 2 – Відносні показники рівня приросту деформації у МС: а – 17ГС, б – 19Г

Для сталі 19Г підвищена небезпека розвитку корозійно-механічних уражень буде в усіх кислих ґрунтових електролітах. Найнебезпечнішими серед підкислених хлоридних буде МС2 та МС3, у яких крім підвищеного рівня приросту деформації спостерігаються деформаційні стрибки на кінетичних кривих. Серед підкислених хлоридно-сульфатних підвищені експлуатаційні ризики внаслідок корозійно-механічних процесів будуть для усіх трьох середовищ. У МС4 маємо найвищий рівень приросту деформації, у той час, як для МС 5 та МС 6 фіксуються значні деформаційні піки на кінетичних кривих. Проаналізувавши показники кутів нахилу завершальних ділянок кінетичних кривих деформації можемо зробити висновки про рівень зникання процесу (табл. 4).

Таблиця 4 – Ранжування кислих ґрунтових електролітів за показником кута нахилу завершальної ділянки кривої деформації

МС	Сталь 17ГС			Сталь 19Г		
	330 МПа	420 МПа	510 МПа	330 МПа	420 МПа	510 МПа
1	1,39	3,02	3,9	1,83	3,03	3,74
2	1,85	3,35	1,98	1,76	3,1	4,55
3	2,84	3,59	2,08	3,08	3,42	2,19
4	1,09	1,33	2,26	2,08	3,58	3,07
5	3,27	6,07	4,58	2,77	4,5	5,93
6	2,92	4,13	5,55	2,87	4,05	5,5

Для сталі 17ГС спостерігаємо цікавий взаємозв'язок між рівнем рН та відносними показниками кута нахилу. Зокрема, зниження рівня рН у хлоридних середовищах при

величині напружень 330 та 420 МПа викликає зростання показника, тобто процес деформації інтенсифікується, у той час як при 510 МПа відносний показник зменшується порівняно із МС1. така поведінка може бути пов'язана із наводненням металу та втратою пластичності. З іншої сторони, внаслідок швидшого розчинення металу затуплюються вершини корозійних мікротріщин, тим самим сповільнюється їх ріст. Таке пояснення підтверджується аналізом висоти деформаційних стрибків на кінетичних кривих. Додатково слід відзначити високу бальність показника у МС3 при мінімальній величині напружень.

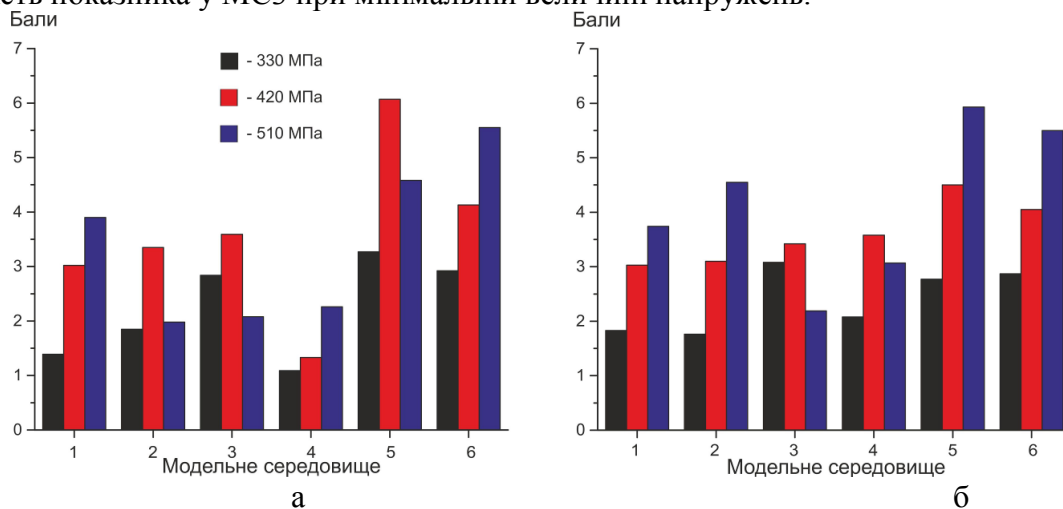


Рисунок 3 – Відносні показники кутів нахилу деформаційних кривих у МС:  
а – 17ГС, б – 19Г.

Поведінка сталі 19Г подібна до такої для 17ГС у відповідних середовищах, однак є низка особливостей, зокрема менша бальність при рівні напружень 420 МПа, за винятком МС4, що може бути пов'язане із високими показниками відносних приростів деформації та, відповідно, вичерпанням ресурсу пластичності. Узагальнивши отримані дані, можемо провести об'єднане ранжування кислих ґрунтових електролітів за трьома характеристичними показниками

**Висновки.** Для деградованої трубопровідної сталі 17ГС за сумою трьох показників найнебезпечнішими будуть МС3, МС 5 та МС6. Особливу увагу слід звернути на МС3, де підвищені ризики розвитку корозійно-механічних процесів є вже при середньому з досліджуваних рівнів номінальних напружень, а ураховуючи наявність стрибкоподібних змін деформації на кінетичній кривій, існує підвищена небезпека розвитку корозійних тріщин. У області екстремальних напружень у всіх середовищах бальність сумарного показника є очікувано високою, що свідчить про втрату запасу міцності при різкому виникненні аварійної ситуації. Для тривалоексплуатованої сталі 19Г ситуація подібна, однак бальність сумарного показника вища на 15-53%, що вказує на підвищену небезпеку відмов труб із даної сталі на пізній стадії експлуатації у кислих ґрунтових електролітах. За підвищених експлуатаційних навантажень найбільша небезпека розвитку корозійно-механічних процесів буде у середовищах МС3, 4, 5, 6; при екстремальних навантаженнях – МС2, 5 та 6.

### Література

- Zheng, J. Y., Zhang, B. J., Liu, P. F., & Wu, L. L. (2012). Failure analysis and safety evaluation of buried pipeline due to deflection of landslide process. *Engineering Failure Analysis*, 25, 156-168.
- Cruickshank, P. (2009). The 2008 Belgium cell and FATA's terrorist pipeline. *СТС Sentinel*, 2(4), 4-8.
- 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.
- Побережний Л. Я. Корозійно-механічна деградація магістральних газопроводів / Л. Я. Побережний, А. І. Станецький // Нафтова і газова промисловість. – 2011. – №1. – С. 36-38.