

*Андрій СТАНЕЦЬКИЙ¹, Павло МАРУЩАК², Василь ЗАПУХЛЯК¹, Роман ПАСЯКА¹,
Любомир ПОБЕРЕЖНИЙ¹*

**РАНЖУВАННЯ ҐРУНТІВ ЗА НЕБЕЗПЕКОЮ РОЗВИТКУ КОРОЗІЙНО-
МЕХАНІЧНИХ ПРОЦЕСІВ У ТРУБОПРОВОДАХ НА ПІЗНІЙ СТАДІЇ
ЕКСПЛУАТАЦІЇ**

¹*Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу,
вул. Карпатська, 15, м. Івано-Франківськ, 76019*

²*Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя
вул. Руська, 56, м. Тернопіль, 46001. E-mail: maruschak.tu.edu@gmail.com*

*Andrii STANETSKY¹, Pavlo MARUSCHAK², Vasyl ZAPUKHLYAK¹, Roman PASYAKA¹,
Lyubomyr POBEREZHNY¹*

**RANKING OF SOILS FOR RISK OF DEVELOPMENT CORROSION-
MECHANICAL PROCESSES DEVELOPMENT IN PIPES IN THE LATE STAGE
OF OPERATION**

¹*Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas,
15, Karpatska Str., Ivano-Frankivsk, 76019, Ukraine*

²*Ternopil Ivan Pul'uj National Technical University,
56, Ruska Str., Ternopil, 46001, Ukraine*

ABSTRACT

In the process of long-term operation of the pipeline material significantly changes its physical and mechanical properties, leading to the formation of a difficult design pipe predictable and difficult to control stress-strain state, whose research represent scientific and practical interest. The importance is the creation of advanced methodological approaches based on modeling of structural elements, while providing effective control phasic process of deformation and fracture by defining parameters.

Research deformation behavior of the material in terms of pipeline pressures and influences that mimic the performance, will help to better assess the remaining life of operating safety and service life of new pipelines to predict the correct operational risks and assess the level of potential threats to the environment caused by the operation of these technical objects. It is important to study the kinetics of deformation in corrosive environments because the level of damage as a result of synergistic action of mechanical and corrosion factors increases linearly, under the same increased probability of depressurization or destruction of the pipeline, and, consequently, the associated operational risks. Now more than ever, there is an urgent need for new methods of integrated assessment of the pipeline, its residual life, prevent damage to piping systems, adequate interpretation of the situation in emergency conditions. Adequate and timely risk assessment will provide a significant number of accidents and failures and will help develop a set of measures to prevent and reduce risk to acceptable performance.

For management decisions on gas pipelines need to compare operating environments on the total index of probability of dangerous processes (corrosion, loss of bearing capacity, etc.) followed by their ranking. The results of the experiments we asked to rank all the studied environment the following characteristic values:

- the absolute value growth strain;
- relative value of growth strain;
- the angle of the final section of the curve deformation.

A ranking for soil electrolytes characteristic parameters and set dangerous for degraded pipeline steels in each group. For steel 17GS and most dangerous 19G model is a neutral medium 2, 5 and 6.

Developed experimental study of the effect of ground deformation kinetics electrolytes pipe steels. Found that increase the overall deformation resulting from prolonged exposure to the operating environment (soil electrolytes) and steel pipe 17GS 19G and operated 41 years, ranging from 4 to 9% and 5.5% respectively to 12 and tends to further increase.

A method for ranking the risk of soil corrosion and mechanical processes and proposed as a performance characteristic angle of the final section of the deformation curve, the absolute and relative growth rates of deformation. For steel 17GS and most dangerous 19G model is a neutral medium 2, 5 and 6.

KEY WORDS: *gas pipelines, long exploitation, corrosion degradation, operation risk, gas main failure.*

Оцінювання деформаційної поведінки матеріалу трубопроводу за умов (навантажень і фізико-хімічного впливу середовища), максимально наближених до експлуатаційних, за безпечує можливість прогнозування залишкового ресурсу діючих і нових трубопроводів. Крім того, воно дозволяє коректніше прогнозувати експлуатаційні ризики та рівень потенційних загроз довіллю.

Важливо вивчити кінетику деформування у корозивних середовищах, оскільки рівень пошкоджень внаслідок синергічної дії механічного та корозійного чинників зростає нелінійно, відповідно так само збільшуються імовірності розгерметизації, або руйнування трубопроводу, а, відповідно, й пов'язані з цим експлуатаційні ризики [1]. Досліджено вплив тривалого навантаження на деформаційну поведінку трубної сталі 17ГС у стані постачання та після 41 року експлуатації у хлоридних і хлоридно-сульфатних середовищах (табл. 1.).

Таблиця 1. Хімічний склад модельних середовищ

Table 1. Chemical composition of model environments

№ MC		1	2	3	4	5	6
Концентрація, mol/l	NaCl	0,01	0,05	0,1	0,005	0,025	0,05
	Na ₂ SO ₄	-	-	-	0,005	0,025	0,05

У хлоридних середовищах виявлено зростання приростів деформації за збільшення рівня прикладених напружень. На відміну від даних одержаних на повітрі, в середовищах не було циклічних пришвидшень–сповільнень деформування, що може бути пов'язане з ефектом Ребіндера (рис. 1, 2).

У всіх хлоридно-сульфатних середовищах спостерігали істотне зростання швидкості деформування за мінімального рівня номінальних напружень (рис. 1). На нашу думку, це пов'язано зі зростанням локалізації корозійних процесів. Це зумовлює підвищену небезпеку активації корозійно-механічних процесів у цих середовищах, навіть за штатних режимів експлуатації трубопроводу.

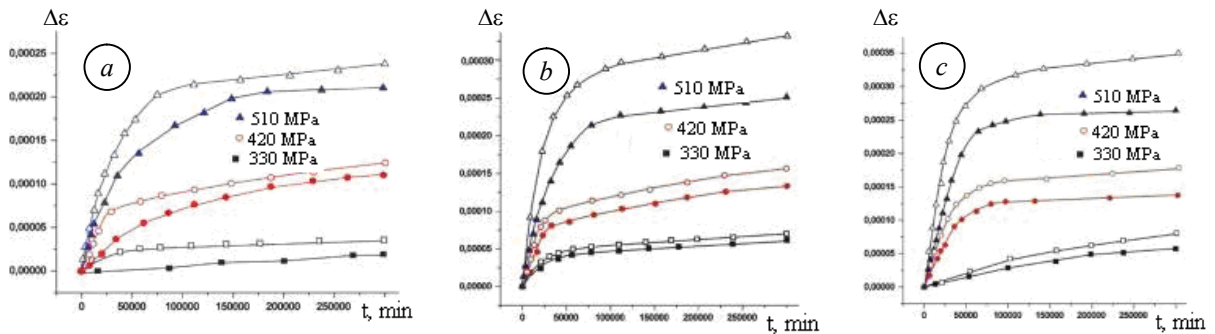


Рис. 1. Вплив прикладених напружень на кінетику деформації трубної сталі 17ГС у MC-1 (a); MC-2 (b); MC-3 (c): ■ – сталь в стані поставки; □ – 41 рік експлуатації.

Fig. 1. Influence of applied stresses on deformation kinetics of pipeline steel 17GS in the ME-1 (a); the ME-2 (b); the ME-3 (c): ■ – steel in the state of delivery; □ – 41 years of operation.

Виявлено підвищену чутливість трубної сталі до тривалої дії хлоридно-сульфатних електролітів, що необхідно враховувати при оцінюванні ресурсу роботи. Слід відзначити значні кути нахилу завершальної ділянки кривої у MC5 та MC6, що свідчить про нестационарність процесу, тобто про можливість виникнення значних (аж до наскрізних) корозійних уражень у високомінералізованих ґрунтових електролітах за середніх і підвищених номінальних напружень.

На наступному етапі досліджень вивчали деформаційну поведінку сталі 19Г у нейтральних ґрунтових електролітах та її порівняння із даними для сталі 17ГС. У хлоридних електролітах спостерігали притаманний обом дослідженим сталям зростаючий приріст деформації. За аналізом абсолютних і відносних приростів деформації виявлено, що трубні сталі у стані постачання мають незначні відмінності деформаційної поведінки, проте тривало експлуатована сталь 19Г чутливіша до тривалої дії ґрунтового електроліту (рис. 2). Про це

також свідчить інтенсифікація деформаційних процесів, зокрема на початковій стадії швидкість деформації зростає до 20...30 % [2].

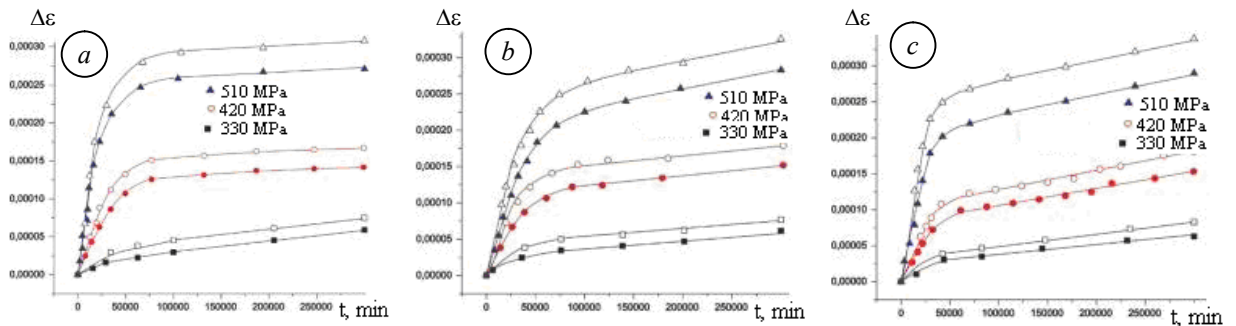


Рис. 2. Вплив прикладених напружень на кінетику деформації трубної сталі 17ГС у МС-4 (а); МС-5 (b); МС-6 (c): ■ – сталь в стані поставки, □ – 41 рік експлуатації.

Fig. 2 Influence of applied stresses on deformation kinetics of pipeline steel 17GS in the ME-4 (a); the ME-5 (b); the ME-6 (c): ■ – steel in the state of delivery; □ – 41 years of operation.

Подальша кінетика не вирізнялась деформаційними особливостями, однак для всіх середовищ спостерігається вищий рівень величини приросту деформації. Особливо небезпечні тенденції виявлено у МС2 та МС3, де поряд зі значними абсолютними приростами (МС3) спостерігали ще й підвищений ризик тривалого розвитку процесу (МС2), про що свідчить зростання кута нахилу завершальних ділянок кривих.

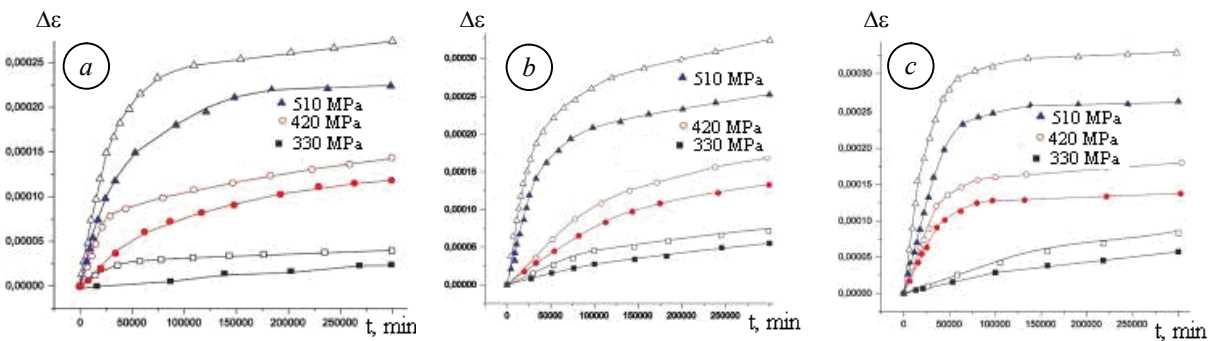


Рис. 3. Вплив прикладених напружень на кінетику деформації трубної сталі 19Г у МС-1 (а); МС-2 (b); МС-3 (c): ■ – сталь в стані поставки, □ – 41 рік експлуатації.

Fig. 3 Influence of applied stresses on deformation kinetics of pipeline steel 19G in the ME-1 (a); the ME-2 (b); the ME-3 (c): ■ – steel in the state of delivery; □ – 41 years of operation.

Отже, у нейтральних хлоридних середовищах прирости деформації для сталі 19Г на 7...15% вищі, ніж для 17ГС. Крім того, у МС2 зафіксовано значну нестационарність процесу деформування на останній стадії. Така поведінка свідчить про значну пошкодженість матеріалу внаслідок впливу корозивного середовища за тривалої експлуатації. Це за умови невчасного реагування ремонтних служб може спричинити розгерметизацію труби.

У хлоридно-сульфатних ґрунтових електролітах деформаційна поведінка сталі 19Г була дещо іншою, ніж сталі 17ГС. Зокрема, виявлено зростання приросту деформації на першій стадії. Також їй притаманні більші абсолютні величини деформацій та їх відносних приростів для всіх модельних середовищ. Крім того, у МС5 та МС6 спостерігали значні величини кутів нахилу завершальних ділянок. Можна зробити висновок, що у хлоридно-сульфатних електролітах для досліджуваних тривало експлуатованих сталей існує підвищена небезпека розвитку корозійно-механічних процесів у місцях пошкодження протикорозійного покриття.

Також слід звернути увагу на кут нахилу завершальних ділянок кривих деформації за мінімального рівня номінальних напружень. Для усіх хлоридно-сульфатних середовищ виявлено зростаючу кінетику, яка вказує на підвищену небезпеку накопичення корозійних пошкоджень та розвитку корозійно-механічних процесів. Не слід забувати, що висока чутливість до

тривалості дії експлуатаційних середовищ може стати причиною розгерметизації трубопроводів із невеликою товщиною стінки. Окремо варто виділити промислові трубопроводи, якими часто транспортується вологий газ, що зумовлює нагромадження підтоварної води у нижній частині труби. Остання діє як корозивне середовище і за відсутності активного протикорозійного захисту може стати причиною витoku транспортованого продукту та завдання шкоди працівникам та довкіллю.

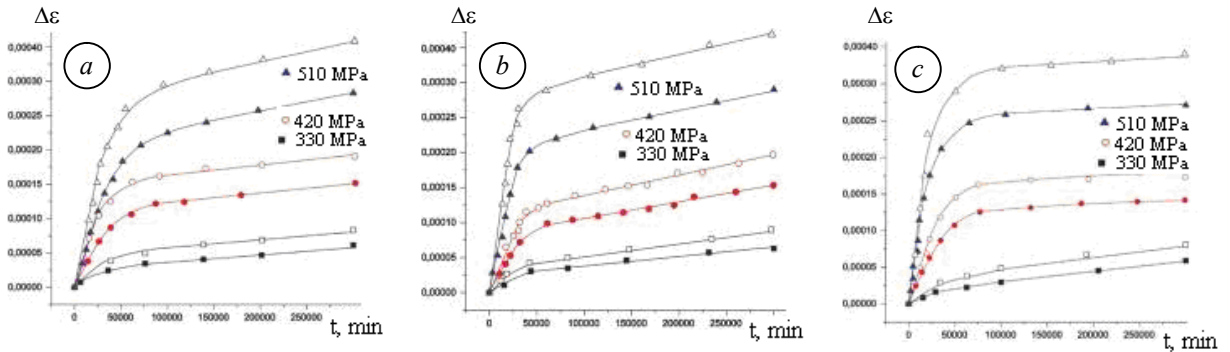


Рис. 4. Вплив рівня прикладених напружень на кінетику деформації трубної сталі 17ГС у МС-4 (а), МС-5 (б), МС-6 (с): ■ – сталь в стані поставки; □ – 41 рік експлуатації.

Fig. 4 Influence of applied stresses on deformation kinetics of pipeline steel 19G in the ME-4 (a), the ME-5 (b), the ME-6 (c): ■ – steel in the state of delivery; □ – 41 years of operation.

Отже, у нейтральних ґрунтових електролітах найбільші ризики виникнення позаштатних ситуацій для обох досліджуваних сталей спостерігали у МС2, МС5 та МС6. Особливо небезпечними виявлені тенденції є для рівнів підвищених рівнів напружень, які можуть виникати під час просідання ґрунту на ділянках зі складними умовами експлуатації.

Згідно з теорією ранжування, всі джерела загроз мають різний ступінь небезпеки, який можна кількісно оцінити, провівши їх ранжирування. При цьому небезпеку оцінюють за непрямими показниками, вибір яких пов'язаний з умовами роботи об'єкта. У нашому випадку для оцінки тривалості дії експлуатаційних середовищ на трубопровід потрібно відштовхуватися від показників, які служили б маркерами зміни його стану.

Для прийняття управлінських рішень на газопроводах необхідно порівнювати експлуатаційні середовища за сумарним показником імовірності розвитку небезпечних процесів (корозії, втрати несучої здатності тощо) із подальшим їх ранжуванням (рис. 5–7). За результатами здійснених експериментів нами запропоновано ранжувати усі досліджувані середовища за наступними характеристичними величинами:

- абсолютна величина приросту деформації;
- відносна величина приросту деформації;
- кут нахилу завершальної ділянки кривої деформації.

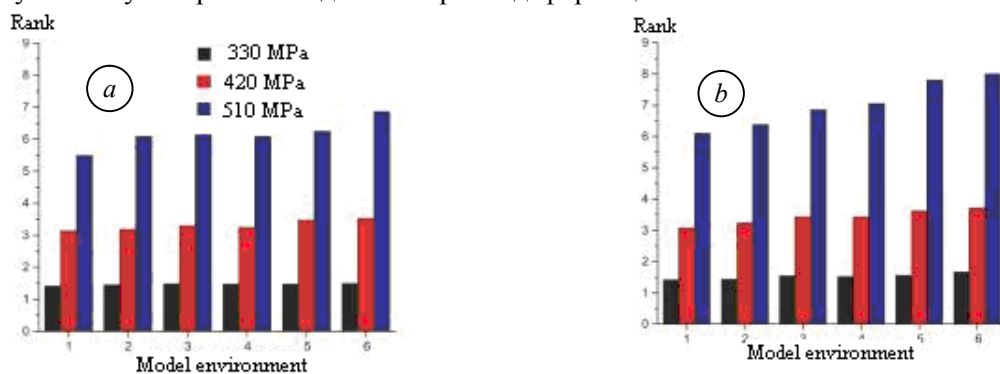


Рис. 5. Ранжування ґрунтових електролітів за показником рівня деформації за напружень 330...510 МПа: а – 17ГС; б – 19Г.

Fig. 5. Soil electrolyte ranking by deformation level (applied stresses 330...510 MPa): а – 17ГС; б – 19Г.

Значення відповідного характеристичного показника на повітрі приймаємо рівним одиниці та розраховуємо за ним відносні показники (бали) для інших випадків. Потім шляхом сумування балів за всіма характеристичними показниками отримуємо кінцевий ранг для кожної комбінації «сталь–середовище–напруження» та визначаємо найнебезпечніші. Для поглибленого аналізу отриманих результатів доцільно представити їх у графічному вигляді (рис. 5–7). Такий методичний підхід забезпечить візуалізацію та порівнюваність результатів. Порівняльний аналіз експериментальних даних у графічному вигляді показує більшу схильність тривало експлуатованої сталі 19Г до втрати показників опору деформаціям, особливо за рівнів номінальних напружень 420 та 510 МПа. Для подальшого порівняльного аналізу величини впливу хімічного складу ґрунтового електроліту та експлуатаційних напружень доцільно використовувати не лише абсолютні показники деформації, а й величини її приросту у відсотках, перераховані у бали.

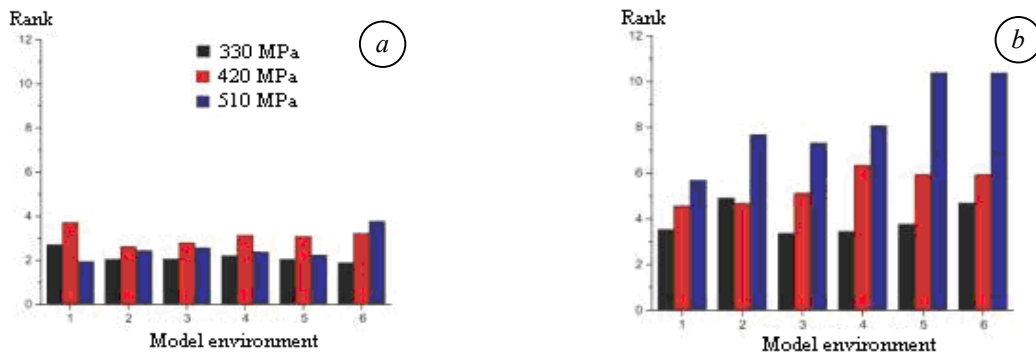


Рис. 6. Ранжування ґрунтових електролітів за приростом деформації за напружень 330...510 МПа: *a* – 17ГC; *b* – 19Г.

Fig. 6. Soil electrolyte ranking by the growth rate of deformation (applied stresses 330...510 MPa): *a* – 17ГC; *b* – 19Г.

Порівняльний аналіз величин приросту деформації вказує на дуже небезпечну тенденцію. У той час, як сталь 17ГC демонструє невисокі показники, для сталі 19Г спостерігаємо значні відносні прирости, навіть за мінімального рівня номінальних напружень. Така тенденція свідчить про підвищені ризики виникнення ушкоджень та втрати цілісності труби, особливо в МС2 та МС6.

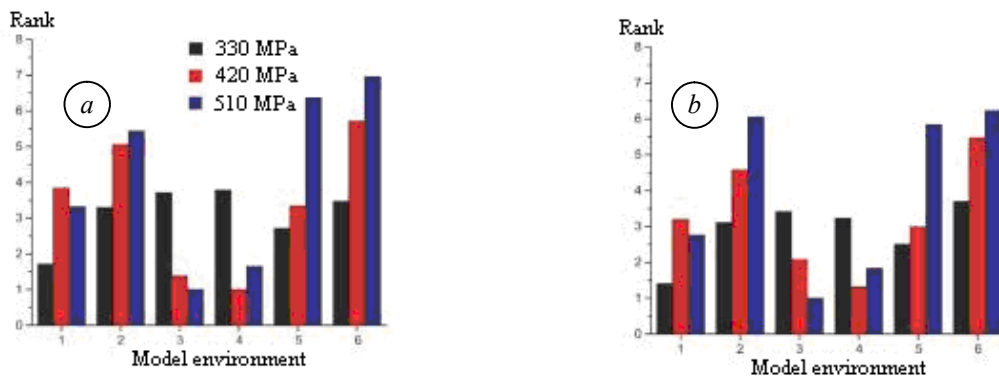


Рис. 7. Ранжування ґрунтових електролітів за кутами нахилу деформаційних кривих за напружень 330...510 МПа: *a* – 17ГC; *b* – 19Г.

Fig. 7. Soil electrolyte ranking by angles of inclination of deformation curves (applied stresses 330...510 MPa): *a* – 17ГC; *b* – 19Г.

Для прогнозування показників деформації у часі важливим є визначенні відносного рівня нестационарності процесу за кутом нахилу завершальної ділянки деформаційної кривої. Аналіз відносних показників кутів нахилу кривих деформації (рис. 7) дав змогу виявити спільну для обох тривалоексплуатованих сталей тенденцію – при мінімальному рівні номінальних напружень у МС2, МС3 та МС4 високі показники нестационарності процесу, тобто є прихована розвитку корозійно-механічних процесів з невеликою швидкістю, що ускладнює їх виявлення при проведенні моніторингових заходів, оскільки дані сусідніх вимірювань відрізнятимуться не значно. Інша виявлена нами небезпека пов'язана із різкою активізацією

небажаної деформації у МС5 та МС6 за високих рівнів напружень. А беручи до уваги підвищену локалізацію корозійних процесів у цих середовищах [3] виникають ризики втрати стійкості оболонки труби та спонтанного руйнування. Такий сценарій може бути зумовлений перевантаженням труби внаслідок локального зсуву ґрунту, що спричинило важку аварію трубопроводу «Уренгой-Помари-Ужгород» у 2008 році та, за попередніми даними, є однією із основних причин розгерметизації трубопроводу «Прогрес» у 2016 р. Додавши бали характеристичних показників отримаємо дані для ранжування нейтральних ґрунтових електролітів за небезпекою розвитку корозійно-механічних процесів внаслідок тривалої дії експлуатаційних середовищ на експлуатовані трубні сталі (рис. 8).

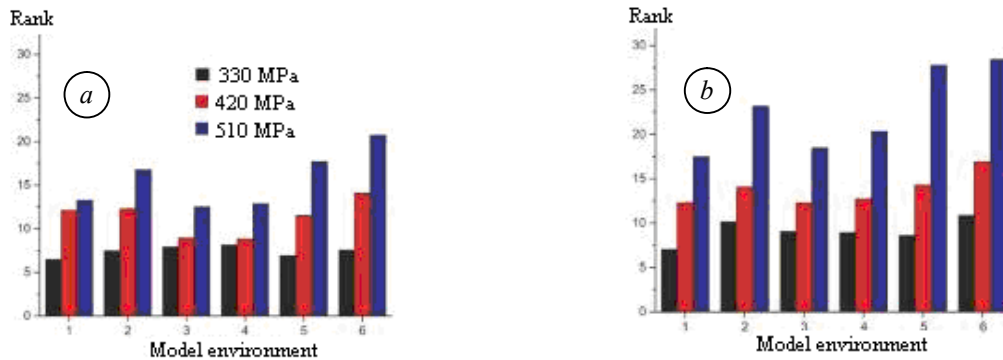


Рис. 8. Ранжування ґрунтових електролітів за небезпекою розвитку корозійно-механічних процесів: *a* – 17ГС; *b* – 19Г.

Fig. 8. Ranking of soil electrolytes at the risk of the development of corrosion-mechanical processes: *a* – 17GS; *b* – 19G.

Узагальнення показників дає змогу виділити найнебезпечніші серед нейтральних ґрунтових електролітів середовища: Для обох досліджуваних марок сталей це будуть МС2, МС5 та МС6. Також спостерігаємо суттєво більший вплив терміну експлуатації на чутливість до впливу корозивного середовища.

ВИСНОВКИ

Досліджено основні закономірності впливу тривалої експлуатації на опір деформуванню трубних сталей у ґрунтах хлоридного та хлоридно-сульфатного типів засолення. Здійснено ранжування ґрунтових електролітів за характеристичними показниками та встановлено найнебезпечніші для деградованих трубопровідних сталей у кожній із груп. Для сталей 17ГС та 19Г найнебезпечнішими є нейтральні модельні середовища 2, 5 та 6.

ЛІТЕРАТУРА

1. Побережний Л. Я., Станецький А.І., Рудко В.В. Корозійний моніторинг транзитних газопроводів // Вісник Тернопільського нац. техн. ун-ту. – 2011. – № 3. – С. 20–26.
2. Побережний Л.Я. Особливості корозії нафтогазопроводів у засолених ґрунтах // Нафтова і газова пром-ть. – 2008. – № 3. – С. 47–49.
3. Вплив експлуатаційної розсіяної пошкоженості на закономірності деградації властивостей конструкційних сталей / Г. Никифорчин, Е. Лунарьська, Д. Петрина, [та ін.] // Вісник Тернопільського держ. техн. ун-ту. – 2009. – Т.14. – №4. – С. 38–45.