

Рисунок 3 – Типова нормована перехідна характеристика людини-оператора

Однак метод експертних оцінок дає змогу побудувати для кожної людини-оператора його динамічну характеристику, що властива лише йому і не залежить від характеру роботи, яку він виконує.

Значення динамічних характеристик людини-оператора необхідні не тільки для створення технічних пристроїв, що оптимально замінюють людину, але й для оцінки можливостей людини-оператора в різних аварійних ситуаціях. Вони досить складні і тому моделі людини-оператора слід враховувати при розробці

експертних систем, архітектури систем візуалізації середовища віртуальної реальності як складових частин систем автоматизованого контролю і керування, які забезпечують проникнення людини-оператора в реалістичну обстановку; людино-машинних систем гібридного інтелекту; структур тренажерів.

Література

- 1 Друкар Г.Л. Эффективное управление. – М.: Недра, 1998.-320с.
- 2 Роменский И.В., Роменский Е.В. Исследование повышения надежности человека-оператора //Комп'ютерне моделювання та інформаційні технології в науці, економіці та освіті: Збірник наукових праць. – Кривий Ріг: І.В.І. – 2002. – С.100-102.
- 3 Ямпольський Л.С. Лавров О.А. Штучний інтелект у плануванні і управлінні виробництвом: Підручник.-К.: Вища школа, 1995. - 255 с.
- 4 Локотош Б.Н. Семенов Г.Н. Автоматизация процессом бурения глубоких скважин – Львів.: Вища школа, - 1977. - 248 с.
- 5 Войлов П.Ю. Инвариантная модель психофизиологической деятельности индивидуума в среде производительного социума //Комп'ютерне моделювання та інформаційні технології в науці та освіті: Збірник наукових праць. - Кривий Ріг: І.В.І., 2002.- С. 294-300.

УДК 621.643

ПРОГНОЗУВАННЯ КОРОЗІЙНОЇ ВИТРИВАЛОСТІ ТРУБНИХ СТАЛЕЙ ТА ЗВАРНИХ З'ЄДНАНЬ ПРИ НИЗЬКИХ ЧАСТОТАХ НАВАНТАЖЕННЯ

Л. Я. Побережний

ІФТУНГ, 76019, м. Івано-Франківськ, вул.Карпатська, 15, e-mail: liberty@iftung.if.ua

Предложены способы ускоренной оценки коррозионной выносливости трубных сталей и сварных соединений при низкочастотном нагружении, основанные на построении прогнозируемых участков кривых низкочастотной коррозионной усталости с использованием одной или двух экспериментальных точек.

Найекономічнішим за енерговитратами видом транспорту продукції морських родовищ є трубопровідний. Незважаючи на те, що капіталовкладення в об'єкти транспорту нафти і газу на морі дуже великі, рівень техніки та технології в цій області дає змогу промислово розвинути країнам з достатньою ефективністю експлуатувати трубопровідні системи великої протяжності (понад 500 км) та продуктивності.

Витікання нафти з морських нафтопроводів є вкрай небезпечним в екологічному плані, а збирання розлитої в морі нафти є складною, високовартісною операцією, що потребує використання спеціальних технічних засобів.

It is offered ways of the speed estimation of pipeline steel and welded joints corrosion endurance at low frequency loading, based on building forecasted parts of low frequency corrosion fatigue curves with use one or two experimental points.

На сьогодні найпоширенішими в світі є сталеві нафтогазопроводи, хоча ведуться інтенсивні пошуки нових матеріалів для підводних трубопроводів.

В процесі експлуатації морський трубопровід зазнає різноманітних зовнішніх впливів, основними з яких є гідростатичний та хвильовий тиск, підводні течії, температурні впливи та корозійна активність середовища.

Аналіз причин аварій морських трубопроводів свідчить, що приблизно 75 % всіх пошкоджень відбувається внаслідок впливу на трубопровід хвиль та течій. Цей вплив є не лише одним з найнебезпечніших та найпоширеніших, але й найменш прогнозованим. Так, трубопро-



від, укладений в траншею та засипаний піском, під час шторму може вийти на поверхню ґрунту та піддаватися активному впливу хвиль і течій, в результаті чого може утворитися ділянка, що провисає та здійснює коливання. Це, в свою чергу, спричинює деформацію (згин трубопроводу), призводить до розтріскування залізобетонної оболонки та розриву ізоляційного покриття, проникнення морської води до металу трубопроводу, утворення вторинних концентраторів напружень, що в комплексі викликає передчасне руйнування.

Дослідження силового впливу морських хвиль на підводний трубопровід засвідчили, що окремі недостатньо баластовані його ділянки можуть змінювати своє початкове положення та зміщуватися в напрямі поширення хвиль і назад. Причому періоду хвилі відповідає повний цикл навантаження трубопроводу. Частота хвиль залежить від їх довжини та глибини акваторії і зазвичай знаходиться в межах 0,1...1 Гц. Коливання морської поверхні відчутно передається на глибину до 30 метрів. За термін експлуатації 30 років метал трубопроводу може зазнати $10^8 \dots 10^9$ циклів навантаження.

Можна підсумувати, що за таких чи подібних умов трубопровід піддаватиметься низькочастотній багаточисловій втомі та корозійній втомі, яка є головним лімітуючим чинником при оцінці ресурсу його роботи і на даний момент залишається практично недослідженою.

При одночасній дії на елемент трубопроводу корозійного середовища та циклічного навантаження його частота відіграє особливо важливу роль [1]. Чим менша частота, тим ни-

жча корозійно-втомна міцність, оскільки збільшується час впливу середовища при заданій кількості циклів навантаження.

Агресивна дія середовища посилюється в напівциклі розкриття тріщини, коли руйнуються пасивуючі плівки і стає можливим безпосередній контакт середовища з новоутвореною ювенільною поверхнею металу в зоні вершини тріщини. Також в тріщині функціонує гальванічний елемент (ГЕ) з електродами: вершина тріщини під напруженням – анод, береги тріщини, вільні від напруження – катод. Робота даного ГЕ, електрорушійна сила якого залежить від напружень (деформацій), є чи не головною причиною інтенсивного протікання в тріщині корозійних процесів [2].

У зв'язку з цим важливо передбачити, в якому діапазоні амплітуд напружень довговічність та несуча здатність сталі трубопроводу (зварного з'єднання) контролюється не навантаженням, а хімічною, фізичною та фізико-хімічною дією середовища [3].

Мета роботи – комплексне дослідження одночасного впливу на витривалість сталі трубопроводу корозійного середовища та частоти навантаження, а також пошук способів прискореної оцінки і прогнозування корозійної витривалості трубних сталей та зварних з'єднань.

Об'єктом досліджень вибрано безшовні гарячедеформовані труби зі сталі 20 (ГОСТ 1050-88) з вмістом карбону 0,17...0,24 % діаметром до 426мм, які широко використовуються при спорудженні морських трубопроводів. Досліджували також зварні з'єднання труб, виконані ручним зварюванням електродами марки УО-

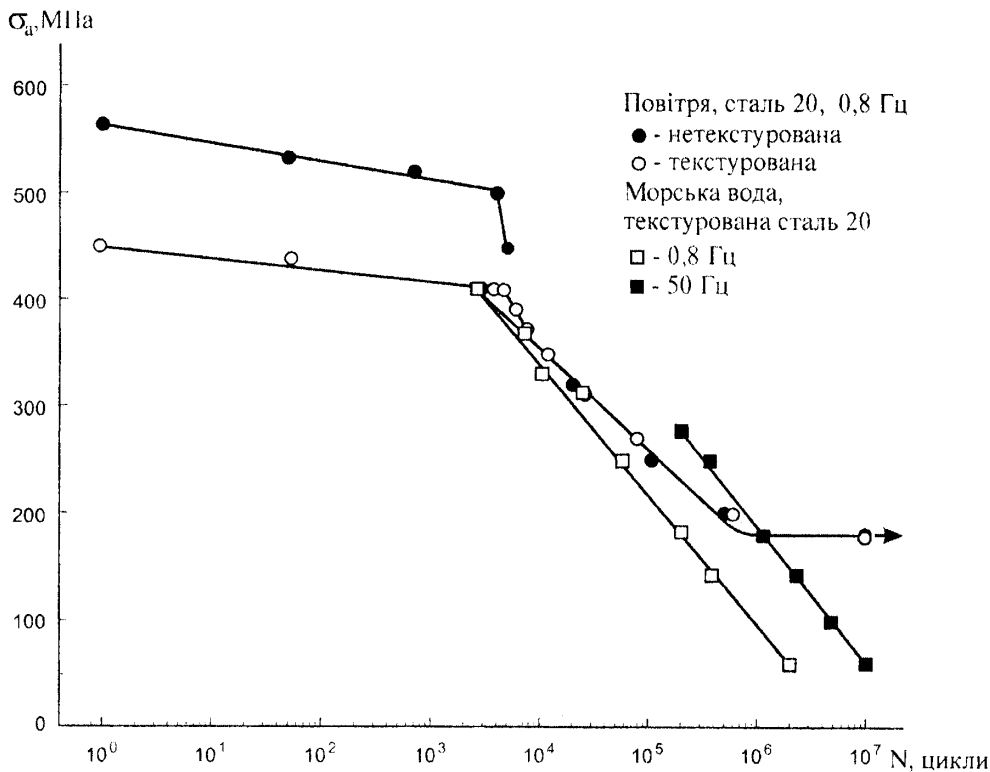


Рисунок 1 – Повні криві втоми та ділянки кривих корозійної втоми зразків-моделей



НИ – 13/55. Експериментальні зразки-моделі виготовляли із заготовок, вирізаних зі стінки труби, за розробленою в ІФНТУНГ технологією.

Корозійно-втомні випробовування проводили при 293 К на зразках-моделях з $l_p/d = 10$ та 4 у середовищі морської води [4]. Корозійну витривалість сталі при $f = 0,8$ Гц досліджували в діапазоні $\sigma_a = 60 \dots 410$ МПа, повністю охоплюючи область втомного зламу, а при $f = 50$ Гц – в діапазоні 60...280 МПа, що пов'язано з величиною $l_p = 50$ мм [5]. Для досліджень зварного з'єднання ($f = 0,8$ Гц) використовували короткі зразки-моделі, в яких зварний шов розташований посередині робочої частини зразка.

Встановлено, що частота навантаження мало впливає на кут нахилу ділянок кривих корозійної втоми, проте спричинює їх зміщення по осі абсцис (рис. 1). Зі збільшенням частоти від 0,8 до 50 Гц при $\sigma_a = 60$ МПа довговічність зростає в 5 разів, а при $\sigma_a = 280$ МПа – в 6,7 рази. При частоті 0,8 Гц ділянка кривої корозійної втоми знаходиться лівіше ділянки багаточислової втоми на повітрі. Точка перетину цих ділянок лежить на межі між областями циклічної повзучості та втомного зламу. При зниженні σ_a від 410 МПа довговічність сталі в корозійному середовищі порівняно з повітрям закономірно зменшується (при $\sigma_a = \sigma_{0,1}$ – в 3,5 рази).

Відзначимо, що оцінку довговічності сталі трубопроводу можна здійснювати не тільки за параметром N , але й за часом випробовувань t . Відповідно при $N = \text{const}$ випробовування з частотою навантаження 0,8 Гц відбуватимуться в 62,5 рази довше, ніж при 50 Гц.

Таким чином, незважаючи на значну тривалість, низькочастотні корозійно-втомні випробовування є необхідною ланкою комплексної діагностики матеріалу трубопроводу і їх неможливо замінити поширеними випробовуваннями з частотою 50 Гц, оскільки при $\sigma_a < \sigma_{0,1}$ руйнування в корозійному середовищі контролюється часом. Постає проблема прискореного визначення параметрів кривої корозійної втоми при низьких частотах навантаження.

Пропонуємо два способи прискореної оцінки корозійної витривалості при низькочастотному навантаженні.

Спосіб 1

1. Будуємо повну криву низькочастотної втоми на повітрі.

2. Проводимо випробовування до руйнування в корозійному середовищі при $\sigma_a = \sigma_{0,1}$ з тією ж частотою навантаження.

3. Приймаємо, що довговічність матеріалу на повітрі та в корозійному середовищі при напруженні, яке розмежує області циклічної повзучості та втомного зламу, практично не відрізняється, оскільки домінує механічний чинник.

4. Проводимо за двома точками пряму, яка відповідає прогнозованій ділянці кривої низькочастотної корозійної втоми.

Спосіб 2

1. Будуємо криву корозійної втоми при частоті навантаження 50 Гц.

2. Проводимо низькочастотні випробовування до руйнування в корозійному середовищі при $\sigma_{0,2}^* > \sigma_a > 0,7\sigma_{0,2}^*$, попередньо визначивши умовну межу текучості $\sigma_{0,2}^*$ з діаграм згину [6].

3. Через отриману експериментальну точку проводимо пряму, паралельну до відповідної ділянки кривої корозійної втоми при $f = 50$ Гц, і таким чином знаходимо прогнозовану ділянку кривої низькочастотної корозійної втоми.

Відзначимо, що спосіб 1 забезпечує точніше прогнозування корозійної витривалості, проте спосіб 2 менш тривалий.

Проведено також дослідження зварного з'єднання, яке в межах робочої частини зразка-моделі можна розглядати як композицію „зварний шов – зона термічного впливу” (ЗШ-ЗТВ).

Встановлено (рис. 2), що в області втомного зламу при $\sigma_a > \sigma_a$ корозійна витривалість зварного з'єднання може перевищувати його витривалість у повітрі, що не пов'язано з охолоджуючою дією морської води. Більшу довговічність композиції ЗШ – ЗТВ в корозійному середовищі при $\sigma_a = 410$ МПа можна пояснити з позицій деформаційно-кінетичного аналізу процесу. Тривалість стадії циклічного зменшення у корозійному середовищі складає ~ 800 циклів, а повторного циклічного зменшення у повітрі – лише ~ 300 циклів, оскільки передусім стадія циклічного зменшення, відсутня при випробовуваннях у морській воді. В результаті, стадія стабілізації амплітуди деформації ϵ_a у повітрі починається і закінчується швидше, ніж у корозійному середовищі, складаючи відповідно 960 та 1200 циклів. Отже, до появи тріщин, здатних поширюватися при незмінному навантаженні, зварне з'єднання у морській воді витримує ~ 2000 циклів, а у повітрі – лише ~ 1000, тобто у два рази менше, незважаючи на те, що величина ϵ_a на стадії стабілізації в корозійному середовищі дещо більша від ϵ_a у повітрі. Однак на завершальній стадії живучість зварного з'єднання у морській воді у 2,5 рази менша, ніж у повітрі.

Експериментальні результати переконують в тому, що негативний вплив морської води відносно повітря, виражений у зниженні довговічності зварного з'єднання, теоретично проявляється при $\sigma_a < \sigma_a$, а практично – при $\sigma_a < \sigma_{0,2}^*$, тобто амплітудах напружень, менших 260 МПа, коли матеріал перебуває в області пружного статичного згину. Вказана закономірність не поширюється на основний метал (рис. 1).



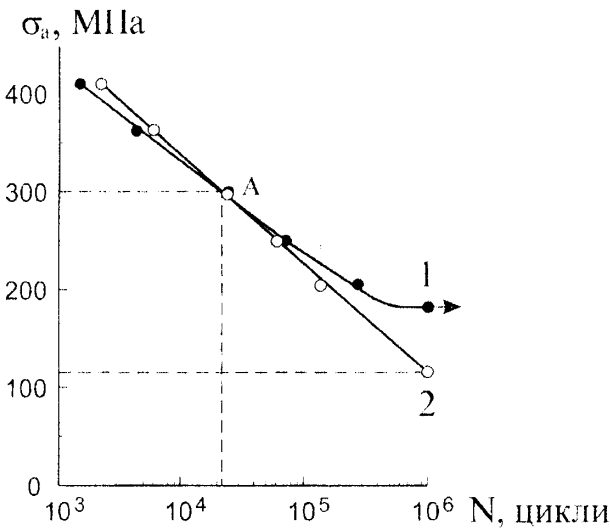


Рисунок 2 – Взаємне розташування ділянок кривих втоми (1) та корозійної втоми (2) зварного з'єднання

Для прискореної оцінки корозійної витривалості зварного з'єднання при низькочастотному навантаженні пропонуємо такий спосіб:

Будуємо ділянку кривої низькочастотної втоми на повітрі при $\sigma_a = \sigma_{0,2}^*$;

Проводимо випробування до руйнування у корозійному середовищі при $\sigma_a = \sigma_{0,1}$ з тією ж частотою навантаження;

Приймаємо, що довговічність зварного з'єднання на повітрі та в корозійному середовищі при $\sigma_a = \sigma_{0,2}^*$ практично не відрізняється;

Проводимо за двома точками пряму, яка відповідає прогнозованій ділянці кривої низькочастотної корозійної втоми.

Проведені дослідження дають підстави зробити узагальнюючі висновки:

низькочастотна багаточиклова корозійна втома є властивою для тривалого періоду експлуатації морських трубопроводів;

розроблено способи прискореної оцінки корозійної витривалості основного металу та зварного з'єднання труб за прогнозованими ділянками кривих низькочастотної корозійної втоми, побудованими з використанням однієї або двох експериментальних точок.

В області низьких σ_a на кривих корозійної втоми спостерігається перегин. Встановлення залежності абсциси перегину N_n від частоти навантаження f допоможе в подальшому прогнозувати корозійну витривалість трубних сталей та зварних з'єднань при великих базах випробувань.

Література

- 1 Малоциклова усталість сталі в робочих средах / Карпенко Г. В., Кацов К. Б., Кокотайло И. В., Руденко В. П.- К.: Наук. думка, 1977.- 112 с.
- 2 Петров Л. М. Фізико-хімічні аспекти механіки корозійного руйнування // Фіз.-хім. механіка матеріалів. - 2001.- № 3.- С. 127-129
- 3 Побережний Л. Я. Закономірності деформації і руйнування морських трубопроводів при статичному та низькочастотному навантаженні: Автореф. дис... канд. техн. наук: 05.15.13 / Івано-Франківський національний техн. ун-т нафти і газу. - Івано-Франківськ, 2002.- 19 с.
- 4 Крижанівський Є. І., Побережний Л. Я. Методологічні аспекти дослідження взаємозв'язку процесів деформації та руйнування трубопроводів // Нафт. і газова пром-сть.- 2002.- №. 5.- С. 33-38
- 5 Крижанівський Є. І., Побережний Л. Я. Кінетика деформування сталі трубопроводу при низькочастотній втомі // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. - 2001.- №1.- С. 62-67
- 6 Крижанівський Є. І., Побережний Л. Я. Особливості деформування текстурованої сталі трубопроводу при навантаженні чистим згином // Науковий вісник Національного Технічного Університету Нафти і Газу. - 2001.- № 1.- С. 57-61.

