

ВИКОРИСТАННЯ ДІАГРАМ ЖИВУЧОСТІ ПРИ ОЦІНЦІ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ РИЗИКІВ НА ГАЗОНАФТОПРОВОДАХ

Л. Я. Побережний

ІФНТУНГ, 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (03422)

e-mail: p o b e r e z h n y @ n u n g . e d u . u a

По результатам усталостных и коррозионно-усталостных испытаний определены области низкочастотной усталости и коррозионной усталости основного металла и сварных соединений нефтегазопроводов. Введены понятия «диаграмма живучести» и «коэффициент живучести». Определены наиболее опасные диапазоны эксплуатационных нагрузок. Предложены методические подходы к прогнозированию живучести.

By results of fatigue and corrosio-fatigue tests areas of low-frequency fatigue and corrosion fatigue of the basic metal and welded joints of oil and gas pipelines are defined. Concepts «survivability diagramme» and «the survivability coefficient» are entered. The most dangerous ranges of operational loadings are defined. Methodical approaches to survivability forecasting are offered.

Паливно-енергетичний комплекс є одним з найважливіших секторів економіки країни. Враховуючи винятково важливу роль нашої держави як найбільшого транзитера енергоресурсів до Євросоюзу можна стверджувати, що стабільність і безаварійність роботи ПЕК України – це гарантія нашої енергетичної безпеки зокрема, та ЄС загалом [1].

На початку нового тисячоліття потрібні нові наукові підходи до пошуку оптимальних, з точки зору безпеки, шляхів розвитку держави загалом та паливно-енергетичного комплексу зокрема. В ХХІ сторіччі технічні рішення, не здатні забезпечити промислову, соціальну та екологічну безпеку, не матимуть права на існування [2].

Особливу увагу слід приділити газонафтопроводам, які експлуатуються у складних умовах: морським глибоководним та таким, які пролягають у зсувонебезпечних гірських районах. У таких умовах ризик виникнення нештатних важкопрогнозованих ситуацій найбільший через особливості навантажень та впливів, яких вони зазнають в процесі експлуатації.

Зокрема, у гірських районах внаслідок випадання понаднормової кількості опадів можливі спонтанні зсуви, сходження селевих та грязевих потоків, а у зимовий час – сходження снігових лавин. Внаслідок таких природних катаклізмів трубопроводи можуть зазнавати значних імпульсних або циклічних механічних навантажень, які часто призводять до розгерметизації та навіть розривів трубопроводу. Оскільки в гірських районах України зосереджено багато біосферних заповідників, національних парків з рідкісними видами фауни і флори, навіть незначні витіки транспортованого продукту можуть завдати важких, а часом і непоправних, наслідків для унікальних біогеоценозів [3].

Аналогічно у морських глибоководних районах, внаслідок нерівності рельєфу шельфу та дна, зокрема при переході із шельфової до глибоководної зони трубопровід вже на стадії укладання зазнає значних механічних навантажень, що необхідно враховувати при подаль-

ших розрахунках його ресурсу безпечної експлуатації та оптимізації експлуатаційних режимів. Особливо небезпечною тут є ситуація із лавинним змінанням, при якому відбувається ланцюгова втрата стійкості трубопроводу вздовж всієї траси укладання, що може спричинити значні економічні втрати, і негативні наслідки як для підводної фауни та флори, так і для рослинного і тваринного світу узбережжя. Окрім того, вже під час експлуатації можливі аварійні ситуації, зумовлені сходженням підводних грязевих потоків, внаслідок яких механічні напруження у трубопроводі можуть короткочасно зростати до 200%, що може спричинити розгерметизацію і витік транспортованого продукту. Для довкілля це може мати дуже важкі наслідки, адже крім розчинення у воді, нерозчинні або важкорозчинні речовини (наприклад, нафта) хвилями прибиваються до берега, забруднюючи та отруюючи узбережжя. Таким чином, витіки нафти і газу спричиняють комплексний негативний вплив на довкілля, створюючи ризик екологічної небезпеки. Природний газ, основним компонентом якого є метан, відноситься до парникових газів, причому 1 кг метану спричинює таку ж негативну дію, як 35 кг вуглекислого газу. Викиди нафти найнебезпечніші для фауни і флори узбережжя та прибережного мілководдя, насамперед, для водоплаваючих птахів. Наліпаючи на пір'я останніх вони пошкоджують та сплутують його, внаслідок чого настає переохолодження і смерть. Розливи нафти від середніх до великих викликають зазвичай загибель 5.000 птахів. Птахи, які велику частину життя проводять на воді, найуразливіші до розливів нафти.

Найнебезпечнішим є те, що прогнозування таких процесів з метою розробки відповідних заходів із недопущення аварійних ситуацій надзвичайно ускладнене. Необхідно ще на стадії проектування виокремлювати найнесприятливіші поєднання навантажень та впливів з наступним моделюванням можливих нештатних ситуацій і пошуком підходів, методів та спосо-



а



б

Рисунок 1 – Наслідки для довкілля від вибуху газу на трубопроводі Уренгой–Помари–Ужгород



а



б

Рисунок 2 – Руїнування трубопроводу Уренгой–Помари–Ужгород внаслідок вибуху газу

бів їх попередження, чи, у крайньому випадку, зменшення імовірних ризиків до прийнятних.

Створення наукових основ аналізу та забезпечення надійності, безпеки і живучості трубопровідних систем в цілому, та тих, що експлуатуються у складних природних умовах, зокрема, у рамках механіки катастроф є важливим науковим завданням.

На жаль досі в Україні немає чіткої методології забезпечення безпеки трубопровідних систем. При проектуванні згідно наявних нормативних документів, якщо проект відповідає усім сьогодишнім вимогам, окремий аналіз безпеки та ґрунтовний ризик-аналіз із оцінкою кількості можливих відмов та прогнозуванням їх наслідків (побудова «дерева відмов») не проводиться. Така практика призводить до того, що все частіше ми чуємо про значні аварії на трубопровідному транспорті. Зокрема в 2007 р. сталася велика аварія на одній із основних артерій газотранспортної системи трубопроводі Уренгой–Помари–Ужгород загальною протяжністю майже 4500 км та потужністю транспортування 32 млрд. куб. м на рік. В результаті вибуху газу залишилася воронка діаметром близько 100 м. Територія в радіусі кілометра повністю випалена (рис. 1). Деревя обвуглилися, земля перетворилася на яскраво-оранжевий субстрат. Окремі частини труби вибухом відкинуло на 60 – 70 м (рис. 2, а).

Проведено втомні та корозійно-втомні випробовування зразків-моделей основного металу та зварного з'єднання морських трубопроводів в повному діапазоні амплітуд напружень – від границі міцності до границі корозійної витривалості. На основі ґрунтового аналізу кривих «деформація-час (кількість циклів)», одержаних за розробленою раніше методикою [4, 5] методом комп'ютерного запису в режимі реального часу з дискретністю від 0,01 до 1 с, яка автоматично підбиралася, виходячи зі швидкості зміни вимірюваного параметра, вивчено кінетику деформації та руйнування основних несучих елементів нафтогазопроводів.

Для основного металу зафіксовано п'ятистадійну кінетику деформації у області високих амплітуд напружень з характерними деформаційними піками, які відповідають процесам прискореного циклічного зменшення та наступного зміцнення в перших 25...150 циклів навантаження. Поведінка сталі трубопроводу протягом цієї стадії є складнопрогнозована і практично неконтрольована, що, у випадку позаштатної ситуації може призвести до практично миттєвої (менше 4 хв.) втрати несучої здатності з наступною розгерметизацією і руйнуванням трубопроводу.

У морській воді зафіксовано подібну деформаційну поведінку, але процес зменшення ще інтенсивніший внаслідок впливу ефекту Ребін-

Таблиця 1 – Показники живучості основного металу

Повітря		Морська вода	
σ , МПа	живучість, цикли	σ , МПа	живучість, цикли
250	25000	140	100000
280	10000	180	21000
330	4500	250	10200
380	1850	310	6724
400	260	380	1050
420	500	420	120

Таблиця 2 – Показники живучості зварного з'єднання

Повітря		Морська вода	
σ , МПа	живучість, цикли	σ , МПа	живучість, цикли
250	1300	100	4950
280	1000	180	2100
380	250	280	460
400	129	300	220
450	51	350	120
490	48	400	65

дера, і приріст висоти деформаційного піку залежно від амплітуди напружень може складати 15...35% [6].

У випадку зварного з'єднання деформаційні процеси, які відбуваються на першій стадії ще небезпечніші, оскільки воно само по собі є неоднорідним і у першому наближенні є композицією «зварний шов – зона термічного впливу» (ЗШ-ЗТВ), також обов'язково містить неомогенність структури у вигляді різноманітних включень та дефектів. Це створює концентрацію напружень у зоні зварного з'єднання та додаткові ризики пошкодження чи руйнування на етапах будівництва та експлуатації.

Результати випробовувань у морській воді показали подібну деформаційну картину, однак деформаційні піки відсутні. Натомість спостерігаємо практично монотонне небезпечно інтенсивне циклічне зменшення протягом перших 800-1000 циклів.

Така деформаційна поведінка протягом перших циклів навантаження створює ризик важких аварій морських нафтогазопроводів, які експлуатуються у важких умовах – в глибоководних зсувонебезпечних областях. Також не слід забувати про іншу небезпеку – лавинне зминання при будівництві трубопроводу J-методом. Потрібно провести додаткові дослідження з метою розроблення методичних підходів до оцінки та прогнозування ризиків, викликаних аномальною деформаційною поведінкою сталі трубопроводу а також заходів з їх мінімізації.

Інша наукова проблема – оцінка та прогнозування ризиків розгерметизації та руйнування трубопроводів, які експлуатуються протягом тривалого часу (15 та більше років). В процесі експлуатації відбувається процес нагромадження пошкоджень як у основному металі, так і в зоні зварного з'єднання (композиції ЗШ-ЗТВ). Виникає необхідність оцінки та прогнозування живучості – стійкості до зовнішніх наванта-

жень і впливів з боку навколишнього середовища при виникненні й розвитку допустимих пошкоджень. Саме живучість повинна стати одним з головних критеріїв оцінки експлуатаційних ризиків. Цей критерій повинен добре описуватися математично з метою запобігання зайвому ускладненню відповідних інженерних розрахунків. Мірою живучості пропонується вважати тривалість останньої стадії втомного (корозійно-втомного) руйнування. Дані для основного металу та зварного з'єднання наведені у табл. 1 та табл. 2 відповідно.

З табл. 1 видно, що живучість основного металу в морській воді у 1,75–3,5 разів менша. Це однозначно зумовлено корозійною дією середовища. Для нескладної та коректної математичної інтерпретації запропоновано об'єднано представляти графічні залежності живучості матеріалу на повітрі та у корозійних середовищах і називати їх діаграмами живучості. Після тривалого наукового пошуку оптимальним варіантом вибрано використання напівлогарифмічної системи координат (рис. 3), використання якої дає змогу максимально простої для інженерних розрахунків лінійної апроксимації із прийнятною достовірністю (відхилення не перевищує 1-3%).

Аналіз отриманих залежностей для основного металу (рис. 3) показав, що у зоні експлуатаційних навантажень коректній інтерпретації піддається живучість як на повітрі, так і у корозійно-активних середовищах (морська вода). У зоні екстремальних навантажень живучість на повітрі складнопрогнозована. Натомість у морській воді прогнозуванню, щоправда з дещо меншою достовірністю, піддається живучість у повному діапазоні навантажень – від експлуатаційних до екстремальних. Аналітична залежність для живучості основного металу на повітрі описується виразом $\lg N = 6.43 - 0.00838\sigma$, у морській воді $\lg N = 6.2 - 0.009\sigma$

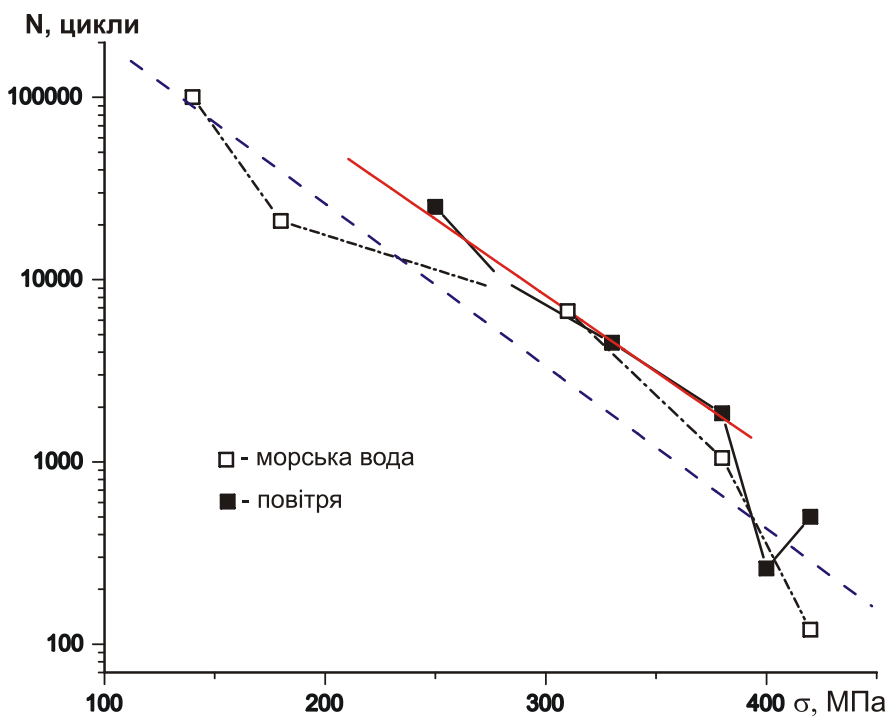


Рисунок 3 – Діаграма живучості основного металу

З метою спрощення інженерних розрахунків трубопроводів та полегшення оцінки і прогнозування ризиків запропоновано використовувати коефіцієнти живучості, які дадуть змогу описати зварне з'єднання через залежність для основного металу. Це відкриє якісно новий рівень оцінки корозійної дії середовища, оскільки за допомогою вказаних коефіцієнтів можна буде легко переходити від ризиків пошкодження і руйнування на повітрі (які відповідають трубопроводу з непошкодженим ізоляційним покриттям) до ризиків у корозійному середовищі (після пошкодження ізоляційного покриття). Можлива також побудова відповідних номограм. Для основного металу отримаємо у морській воді залежність $\lg N = 6.2K_1 - 0.009\sigma K_2$, де K_1 і K_2 0,96 та 1,07 відповідно.

Живучість композиції ЗШ-ЗТВ у морській воді у 2–2,2 рази менша ніж на повітрі (табл. 2). Графічна інтерпретація отриманих результатів для композиції ЗШ-ЗТВ (рис. 4) виявила досить добру прогнозованість живучості у всіх діапазонах навантажень. Відхилення при лінійній апроксимації не перевищують 1%.

Аналітичні залежності для живучості на повітрі та у середовищі морської води виглядають так: $\lg N = 4,782 - 0,00652 \sigma$ та $\lg N = 4,41 - 0,00655 \sigma$ відповідно. З рисунка бачимо, що результати лінійної апроксимації практично паралельні, що підтверджують і коефіцієнти живучості: $K_1 = 0,92$; $K_2 = 1,0046$. З одержаних результатів можна зробити важливий висновок: незважаючи на негомогенність композиції ЗШ-ЗТВ, її поведінка у корозійному середовищі прогнозується краще, ніж основного металу. Важливість такого висновку полягає в тому, що імовірність виникнення дефектів та наявності чужорідних включень у композиції

ЗШ-ЗТВ відчутно більша ніж у основного металу, а, отже, і ризик виникнення та розвитку пошкоджень тут набагато вищий.

Під час діагностики діючого трубопроводу важливо оцінити відносний ступінь небезпек наявних пошкоджень та скласти план їх ліквідації. Для такої оцінки одним із найважливіших критеріїв буде саме живучість матеріалу трубопроводу на різних його ділянках. Лише за умови комплексної оцінки ризику відмови чи руйнування трубопроводу на пошкоджених ділянках, яка ґрунтуватиметься на аналізі параметрів експлуатаційних та, за необхідності, екстремальних навантажень і впливів з обов'язковим урахуванням виду, форми, глибини та інших параметрів наявних дефектів можна говорити про можливість подальшого його використання та коректно оцінити залишковий ресурс безпечної експлуатації.

Якісне, коректне, своєчасне та достатньо точне прогнозування живучості основного металу та зварних з'єднань нафтогазопроводів дасть змогу уникнути багатьох позаштатних ситуацій та буде серйозним і вагомим кроком до забезпечення безпечної експлуатації трубопроводної системи України.

Зараз ведуться роботи зі складання таблиці коефіцієнтів живучості найбільш вживаних конструкційних матеріалів для основних типів ґрунтових електродів та морської води. Це дасть змогу в подальшому значно спростити оцінку агресивного впливу навколишнього середовища та шляхом внесення змін і доповнень до наявної нормативної бази зробити вагомий внесок у формування оновленої Концепції забезпечення безпеки та надійності нафтогазопроводів.

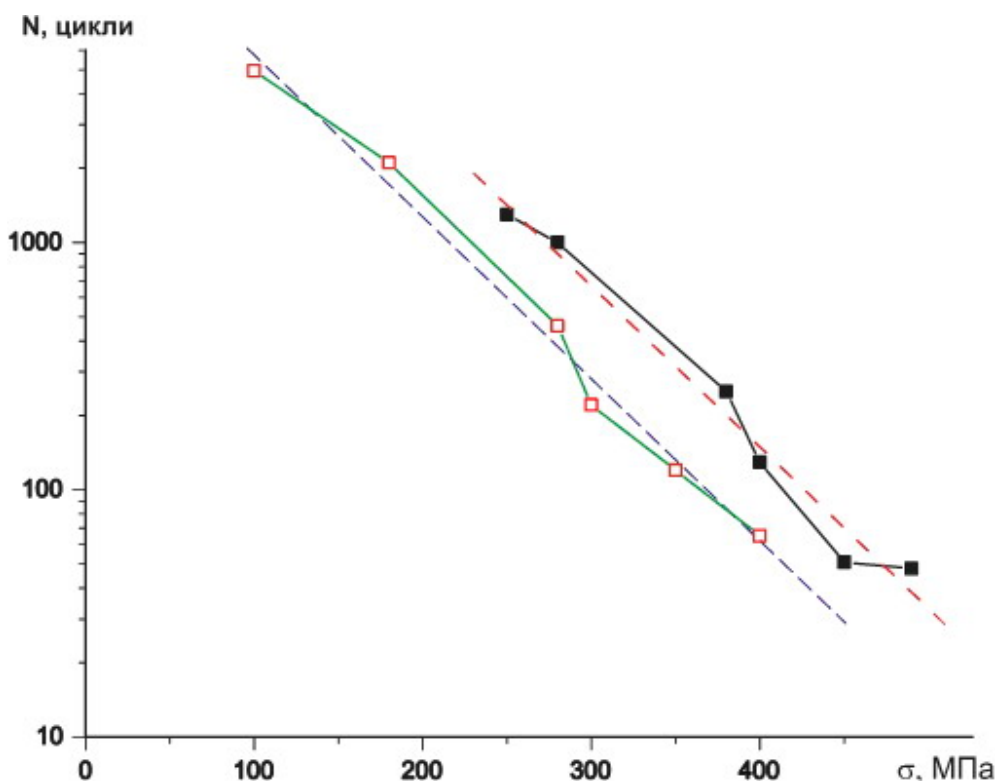


Рисунок 4 – Діаграма живучості зварного з'єднання

Література

1 Крижанівський Є.І., Побережний Л.Я., Шкіца Л.Є. Безпека та захист довкілля від аварій і катастроф трубопровідних систем в складних умовах експлуатації // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – 2007. – № 1. – С. 77-82.

2 Мазур И.И., Иванцов О.М. Безопасность трубопроводных систем. – М.: ИЦ «Элима», 2004. – 1104 с.

3 Побережний Л.Я. Вплив аварій нафтогазопроводів на довкілля // Экология и здоровье человека. Охрана воздушного и водного бассейнов. Утилизация отходов: Сб. науч. ст. XV Международной научно-практической конференции. – Харьков: Сага, 2007. – С. 303-309.


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.

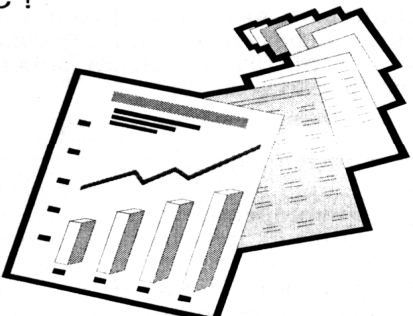
5 Крижанівський Є.І., Побережний Л.Я. Методологія дослідження деформації та руйнування трубопровідних систем // Матеріали III міжнародної конференції „Механіка руйнування матеріалів і міцність конструкцій”. – Львів. – 2004. – С. 419-424.

6 Крижанівський Є.І., Побережний Л.Я. Деформаційна поведінка сталі трубопроводу при низькочастотній втомі // Зб. наук. праць IV Міжнародного симпозиуму „ISTF-2002”. – Тернопіль: ТДТУ ім. І. Пулюя, 2002. – Т. 1. – С. 296-300.

МИ ЧЕКАЄМО НА ВАС !

МІСЦЕ
ВАШОЇ
РЕКЛАМИ





З питань виготовлення і розміщення реклами звертатися:
м. Івано-Франківськ, 76019, вул. Карпатська 15, ІФНТУНГ,
Редакція журналу "Розвідка та розробка нафтових і газових
родовищ", тел.: (03422) 42002, тел./факс: (03422) 42139,
ел. пошта: rozvidka@nung.edu.ua