УДК 006:004.9:60

# ОЦІНЮВАННЯ ЯКОСТІ ПІДЗЕМНИХ ТРУБОПРОВОДІВ З УРАХУВАННЯМ ВТОМНОЇ ДОВГОВІЧНОСТІ

*© М. Микийчук, Л. Юзевич, 2017*

Національний університет „Львівська політехніка”, Львів, Україна

Металеві підземні трубопроводи (ПТ) функціонують у специфічних умовах агресивного впливу корозійних ґрунтового середовища і циклічних механічних навантажень. Задачі оцінювання ресурсу металу (сталі) ПТ в таких умовах є досить складними, оскільки залежать від багатьох причин і факторів. Основні з них – особливості катодного захисту та взаємодії ПТ з оточуючим ґрунтом, а також дослідження циклічності як одного з найважливіших елементів міцнісної оцінки працездатності нафтогазового комплексу [1, 2].

Об’єкт досліджень – метод оцінювання якості ПТ, в якому враховано корозійну втому, низькочастотну втому, тріщини, мікродефекти. ПТ знаходиться під впливом низькочастотних механічних навантажень.

Предмет досліджень – нормативно-технічні документи (НТД), які повинні забезпечити якість та надійність ПТ в умовах впливу корозійного середовища з урахуванням циклічного навантаження і збільшення числа пошкоджень металу труби.

Приклади металевих ПТ – магістральні та розподільчі ПТ нафтогазового комплексу і ПТ водопостачання. Матеріал ПТ – різні марки сталі.

Мета методик – забезпечення проектного ресурсу ПТ, мета даної праці – удосконалення НТД для забезпечення допустимої втомної довговічності металевих підземних трубопроводів. В результаті удосконалена НТД і критерії оцінювання якості ПТ є основою для розробки нового регламенту.

Розглядаємо 4 типи методик, одна з яких стосується корозійної втоми [1, 3], а три наступні – втомної довговічності, відповідної циклічним механічним навантаженням [4].

На першому етапі удосконалення НТД врахуємо вплив експлуатаційних чинників на корозійно-втомне руйнування сталей магістральних нафтогазопроводів. Відповідна інформація частково відображена у працях [1, 3]. Цій інформації відповідає історія нагромадження корозійних мікродефектів, мікротріщин, тріщин.

Розглядаємо, по перше, методику корозійного розчинення металу (сталі) на зовнішній поверхні труби, покритій тонким ізоляційним шаром, в умовах катодного захисту при одночасному впливі циклічного механічного навантаження і корозійно-активного середовища. Як основний критерій ступеня захищеності ПТ в умовах катодного захисту і електрохімічної корозії використовуємо поляризаційний $U_P$ потенціал [2].

Необхідно враховувати циклічну міцність ПТ в умовах тривалої експлуатації, оскільки вони піддаються дії механічних навантажень, що циклічно змінюються. ПТ функціонують в умовах нестабільних режимів, що призводить до втомних пошкоджень і малоциклового (низькочастотного) руйнування [3].

Розуміння фізичної суті відповідних методик дозволяє оцінювати якість процедур діагностування стану металоконструкцій (ПТ) і коректно прогнозувати умови їх корозійного розтріскування під напругою (КРН) або стрес-корозійного руйнування (СКР).

Характеристики втомної довговічності оцінюють на основі трьох методик. У перших двох використовують поняття ефективного коефіцієнта концентрації напружень $K_{eff}$ [5-7]. Перша методика ґрунтується на теорії подібності [5, 6]. У другій оперують параметром „якість” $K_Q$ [7]. При цьому рівень SN кривої еталонного зразка матеріалу і величина ефективного коефіцієнта концентрації напружень одночасно визначають „якість” елемента конструкції [7]. Цю характеристику $K_Q$ визначають на основі аналізу експериментальних даних і результатів досвіду експлуатації аналогічних конструкцій. У третьому методі використовується поняття „рейтингу втоми”, якому відповідає оцінка максимального нормального напруження $\sigma_R$ нульового циклу (номінальне напруження в перерізі „брутто”), при якому втомна довговічність елемента в зоні розглядуваного потенціально-критичного місця рівна $10^5$ циклів при 50%-ній ймовірності з рівнем надійності 0,5 [8].

Відзначимо загальні положення для трьох методик втомної довговічності: 1) для схематизації циклограми напружень і виділення половин циклів використовується метод дощу (rain flow) [4]; 2) для сумування пошкоджень використовують лінійну теорію Пальмгрена-Майнера [4]; 3) для контролю трубопроводу в умовах корозійної втоми та аналізу механізмів нагромадження мікродефектів, які відповідають процесам, розглянемо функціонал якості $J(\cdot)$ з урахуванням оберненого зв’язку та ризиків [9].

Коротко відзначимо основні 4 елементи методик, відповідних циклічним навантаженням [4].



Lviv Polytechnic National University Institutional Repository http://ena.lp.edu.ua

1) Після обробки циклограми за методом дощу необхідно привести всі отримані цикли до нульових циклів рівного пошкодження. Для цього використовують формулу Одінга $\sigma_{pR} = \sigma_{\max}(1+R)^{0,5}$ або Уокера $\sigma_{pR} = \sigma_{\max}(1+R)^{\gamma}$ з параметром $\gamma$=0,6. Тут $R$ – коефіцієнт асиметрії циклу; $\sigma_{pR}$ , $\sigma_{\max}$ – актуальні і максимальні механічні напруження.

2) Обчислюється еквівалентне напруження $\sigma_{екв}$ для всієї історії навантаження.

3) Необхідно перебудувати SN криву зразка (наприклад, смуги з отвором) для забезпечення елемента конструкції з концентратором $\sigma_{екв*} = \sigma_{екв} \times K_Q / K_{eff}$ (тут $\sigma_{екв}$ , $\sigma_{екв*}$ – еквівалентні механічні напруження).

4) Розрахунок довговічності проводимо за формулами: $N = 10^C/(\sigma_{екв})^m$; $N = 10^5/(\sigma_{pR}/\sigma_{екв})^m$. Тут $m$ і $C$ – параметри кривої втоми. Розрахункам втомної довговічності відповідає стандарт ГОСТ 32388-2013 [10].

За базову модель накопичення пошкоджень для металів в умовах нерегулярного деформування (втоми) взято модель Менсона-Хелфолда, що базується на кривій пошкоджуваності [11]:

$$D_s = \left(N_s / N_{fs}\right)^q, \quad q = \left(N_{f(s-1)} / N_{fs}\right)^\beta, \quad \beta = m + a \cdot sign\left(N_{f2} / N_{f1} - 1\right). \tag{1}$$

Тут $D_s$ – пошкоджуваність матеріалу на $s$-му ступені (ділянці) деформування ($s$ =1, 2, 3,…, $ns$); $N_s$ – число циклів деформування на $s$-му ступені; $N_{fs}$ – число циклів до руйнування зразка за режиму деформування, що відповідає $s$-му ступеню; $q$, $\beta$, $m$, $a$ –емпіричні константи; для низки матеріалів (металів) $\beta \approx 0{,}4$.

Енергетичний підхід до опису процесу малоциклової втоми ґрунтується на критерії В. Т. Трощенка і відповідні співвідношення для симетричного регулярного циклічного навантаження мають вигляд [12, 13]:

$$\sum_{i=1}^{N_f} (\Delta W_{di} - \Delta W_{ni}) = W_{fe} \Rightarrow const \ , \ \ N_f \Rightarrow \min , \tag{2}$$

де $W_{fe}$ – критична питома робота, яка відповідає зародженню втомної тріщини; $W_{di}$ – повна питома робота з урахуванням девіатора напружень і девіатора пружних деформацій; $W_{ni}$ – „безпечна” частина повної накопленої питомої роботи; $N_f$ – число циклів до зародження втомної тріщини ($i$ =1, 2, 3,…, $N_f$).

**Висновки**. Розроблено структуру комплексної моделі, в яку входять відмічені в даній праці стандарти, методики і рекомендації щодо підвищення якості процедури оцінювання міцності та надійності підземних трубопроводів з урахуванням параметрів, які характеризують ресурс, корозійну втому і втомну довговічність.

Можливість розрахунку за різними методиками низки параметрів і характеристик металевої труби ПТ дозволяє отримати діапазон непевностей щодо корозійної втоми і втомної довговічності.

*1. Похмурський В. І. Корозійна втома металів та сплавів / В. І. Похмурський, М. С. Хома. – Львів: Сполом, 2008. – 300 с. 2. Чвірук В. П. Електрохімічний моніторинг техногенних середовищ / В. П. Чвірук, С. Г. Поляков, Ю. С. Герасименко. – К. : Академперіодика, 2007. – 323 с. 3. Крижанівський Є. І. Низькочастотна втома та корозійна втома підземних магістральних трубопроводів / Є. І. Крижанівський, Л. Я. Побережний // Механічна втома металів. Праці 13-го міжнародного колоквіуму (МВМ-2006), 25-28 вересня 2006 року — Т. : ТДТУ, 2006 — С. 351-354. 4. Полоник Е. Н. Автоматизация расчетов усталостной долговечности элементов авиаконструкций с геометрическими концентраторами напряжений / Е. Н. Полоник, Е. А. Суренский, А. А. Федотов / Труды МАИ. – Москва, 2016. – Выпуск № 86. – 11 с. – Електронний ресурс: http://www.mai.ru/science/trudy/. 5. Расчеты и испытания на прочность. Методы расчета характеристик сопротивления усталости. ГОСТ 25.504-82. – М.: Издательство стандартов, 1982. – 55 с. 6. Когаев В. П. Расчеты на прочность при напряжениях, переменных во времени / В. П. Когаев. – М.: Машиностроение, 1993. – 364 с. 7. Лоим В. Б. Практика расчетной оценки долговечности авиаконструкций с использованием эффективных коэффициентов концентрации напряжений / В. Б. Лоим // Вестник машиностроения. – 1998. – №9. – С. 31-37. 8. Стрижиус В. Е. Методы расчета усталостной долговечности элементов авиаконструкций: Справочное пособие / В. Е. Стрижиус. – М.: Машиностроение, 2012. – 272 с. 9. Юзевич В. М. Економічний аналіз рівнів ефективності та якості інтернет-платіжних систем підприємства / В. М. Юзевич, О. В. Клювак // Бізнес Інформ. – 2015. – № 1. – С. 160-164. 10. ГОСТ 32388-2013 Трубопроводы технологические. Нормы и методы расчета на прочность, вибрацию и сейсмические воздействия. – М.: Стандартинформ, 2014. – 109 с. 11. Шукаєв С. М. Оцінка довговічності металевих сплавів в умовах багатовісного малоциклового блокового деформування / С. М. Шукаєв, К. В. Панасовський // Пробл. прочности. – 2011. – № 2. – С. 47-60. 12. Волков И. А. Модель повреждѐнной среды для оценки долговечности конструкций при совместном действии механизмов мало- и многоцикловой усталости / И. А. Волков, М. Н. Ереев, Ю. Г. Коротких, И. С. Тарасов // Вычислительная механика сплошных сред. – 2012. – Т. 5, № 1. – С. 54-60. 13. Трощенко В.Т. Энергетический критерий усталостного разрушения // Проблемы прочности. − 1993. № 1. – С. 3-10.*



Lviv Polytechnic National University Institutional Repository http://ena.lp.edu.ua