

МЕТОДИКА ОЦІНКИ РЕСУРСУ БЕЗПЕЧНОЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ТРУБОПРОВОДІВ

Пиріг Т.Ю.

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

The method of estimating the influence of the laying method on the work life of the pipelines has been developed. Based on the combined analysis of indicators of durability and deformation behavior of the pipeline material, a method for determining the safe operation resource is proposed and the notion "relative safe exploitation resource" of the sea pipelines is introduced, the use of which allows to offset the effect of the dispersion of the durability of samples and the associated calculation errors in within the limits of one level of stress.

При збільшенні глибини укладання та діаметра трубопроводу, а також у разі сильної поперечної течії і значного хвилювання істотно підвищується складність інженерних завдань, зокрема, в частині правильного урахування в розрахункових схемах умов і технології укладання та при визначенні напружено-деформованого стану. При укладанні морського трубопроводу вільним зануренням, або з використанням шарнірного криволінійного стінгера, ділянка трубопроводу між кормою баржі-трубоукладача і дном моря набирає форми S-подібної кривої (рис. 1).

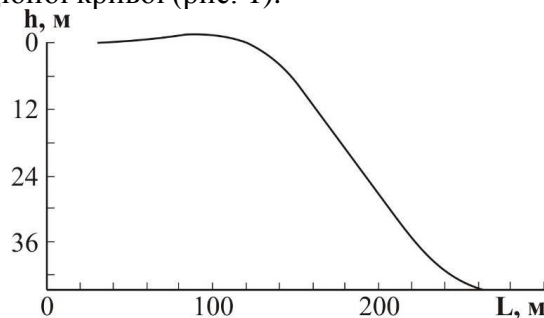


Рис. 1. Конфігурація зігнутої осі трубопроводу діаметром 529 мм.

В літературі знаходимо різнопланові методики статичного та динамічного розрахунку укладання трубопроводів, в яких, однак, недостатньо відображений факт еволюції S-подібної ділянки та пов'язане з цим зменшення ресурсу пластичності та нагромадження дефектності в об'ємі металу, внаслідок прояву квазістатичного ефекту Баушінгера Тут напруження σ_{T1} та σ_{T2} – відповідно границя текучості в першому та другому півциклах ($\sigma_{T2} < \sigma_{T1}$).

Втомним випробуванням передувало моделювання процесу укладання трубопроводу S- та J-методами з метою виявлення впливу попереднього квазістатичного навантаження в циклі укладання на деформаційну поведінку матеріалу трубопроводу в процесі експлуатації. Моделювання передексплуатаційного навантаження (переднавантаження) в процесі укладання трубопроводу S-методом відбувалося шляхом одноциклового знакозмінного навантаження зразків, яке на діаграмі згину призводить до утворення петлі механічного гістерезису, яка складається з двох півциклів. Моделюванню процесу укладання трубопроводу J-методом відповідав перший півцикл навантаження, якому піддавались зразки при моделюванні його процесу укладання S-методом. Імітацію процесу укладання трубопроводу S- та J-методами проводили на зразках-моделях шляхом ступінчастого навантаження. При збільшенні чи зменшенні навантаження на один ступінь номінальні напруження змінювалися на величину $\Delta\sigma = 20$ МПа. Час витримки на кожній ступені t розраховувався в залежності від рівня номінальних напружень та способу укладання з урахуванням того, що довжина укладеного трубопроводу за цикл навантаження приймається рівною $L=300$ м, а швидкість укладання $V=3$ км/доб (наприклад, при рівні напружень $\sigma = 420$ МПа $t = 103$ с). Переднавантаження проводили винятково у середовищі повітря. Пошкодженням ізоляційного покриття в циклі укладання нехтували. Після

проведення моделювання переднавантаження зразок витримувався розвантаженим не менше 12 годин для максимальної релаксації напружень.

Для оцінки довговічності матеріалів та конструкцій найчастіше використовують ділянки кривих втоми (рис. Помилка! Джерело посилання не знайдено..3, а, крива 2) та корозійної втоми (рис. 3, б, крива 2) в напівлогарифмічних координатах. При цьому ділянка кривої корозійної втоми знаходиться лівіше ділянки втоми на повітрі. Точка перетину цих ділянок лежить на границі між областями циклічної повзучості та втомного зламу. Якщо крива втоми після досягнення певного числа циклів навантаження N_R характеризується виходом на горизонтальну ділянку, якій відповідає границя витривалості σ_R , то крива корозійної втоми в міру збільшення числа циклів навантаження безперервно спадає і характеризується наявністю умовної границі витривалості $\sigma_{Rкор}$ при заданій базі випробувань $N_{Rкор}$.

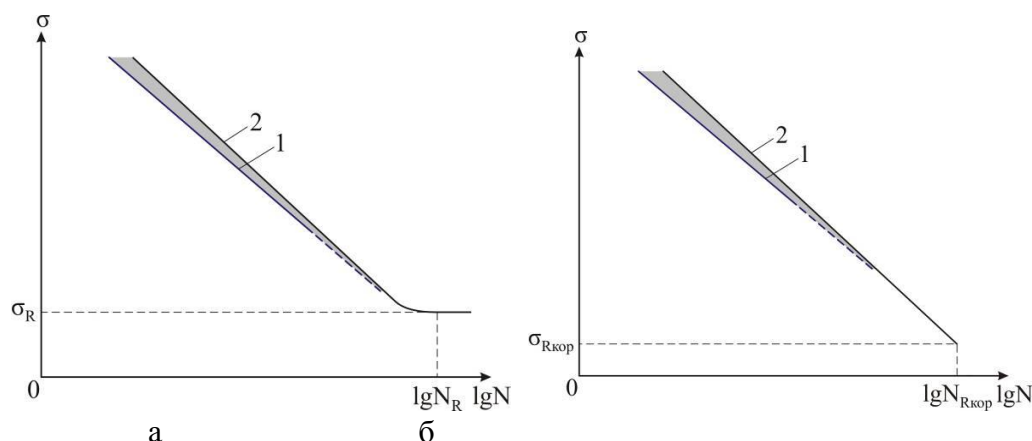


Рис. 3. Схематичне зображення кривих втоми (а) та корозійної втоми (б) матеріалу трубопроводу з урахуванням передексплуатаційного навантаження (1) та без нього (2)

Для врахування впливу переднавантаження на довговічність сталі трубопроводу необхідно доповнити дану інформацію відповідними результатами для переднавантаженого матеріалу (рис. 3, а, б, криві 1). Виділена область відповідає зменшенню довговічності внаслідок передексплуатаційних навантажень.

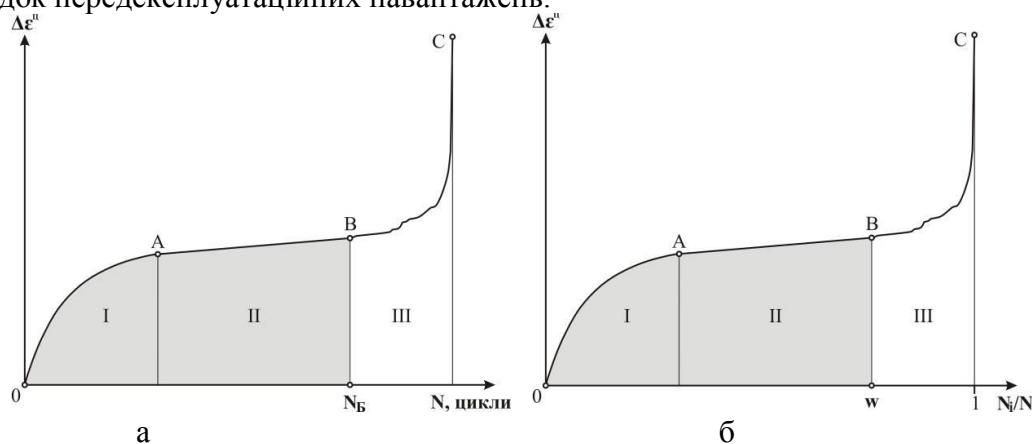


Рис. 4. Загальний вигляд кінетичних кривих деформації при циклічному навантаженні

Відомо, що деформаційна поведінка матеріалу трубопроводу в процесі циклічного навантаження описується кінетичними кривими, загальний вигляд яких зображений на рис. 4, а. З метою простішого визначення впливу передексплуатаційних навантажень на зменшення довговічності пропонується по осі абсцис замість абсолютних значень довговічності N використовувати відносні – N_i/N , де N_i – кількість пройдених циклів навантаження (рис. 4, б).

Для матеріалу трубопроводу типовою є тристадійна кінетика деформування з характерним інтенсивним циклічним зменшенням на I стадії (ділянка OA), яке носить затухаючий характер. Найтриваліший II стадії (ділянка AB) відповідає відносна стабілізація амплітуди циклічної деформації $\Delta \epsilon^u$, яка монотонно зростає з постійною, проте незначною

швидкістю. Наприкінці даної стадії в структурі металу трубопроводу накопичується критичний ступінь пошкоджуваності (відбувається зародження мікротріщин). Подальше циклічне деформування на завершальній III стадії пов'язане з прискореним ростом втомних тріщин, формуванням та поширенням магістральної тріщини аж до початку остаточного руйнування зразка. Таким чином, протягом III-ї стадії штатна експлуатація трубопроводу є неможливою, оскільки вона може призвести до виникнення аварійної ситуації, і, відповідно, включати її тривалість в загальний ресурс роботи трубопроводу є недостньо коректним. Тому суму тривалостей I та II стадій запропоновано вважати ресурсом безпечної експлуатації N_B , а суму відносних тривалостей I та II стадій – відносним ресурсом безпечної експлуатації w (рис. 5). Виділена область відповідає зменшенню відносного ресурсу безпечної експлуатації внаслідок передексплуатаційних навантажень. Введене поняття відносного ресурсу безпечної експлуатації дозволяє розділити повний період експлуатації на роботу в штатному режимі та живучість трубопроводу, тобто безаварійну роботу в режимі обмеженої або мінімальної функціональності, спричинену прискореним розвитком втомних (корозійно-втомних) тріщин. Запровадження таких підходів дозволить підвищити безпеку експлуатації морських нафтогазопроводів та мінімізувати ризики їх розгерметизації і руйнування, що сприятиме також підвищенню їх екологічної безпеки.

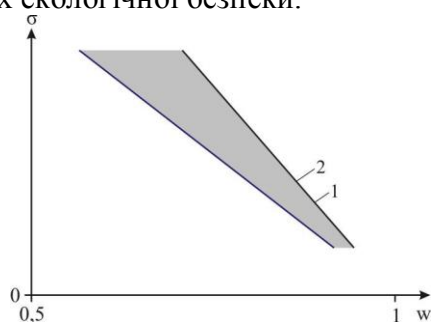


Рис. 5. Характер залежності відносного ресурсу безпечної експлуатації матеріалу трубопроводу з передексплуатаційним навантаженням (1) та без нього (2) від рівня напружень

Експериментальна перевірка методики виявила, що введення оцінки ресурсу роботи у відносних величинах дає змогу нівелювати вплив розкиду довговічностей зразків і пов'язаних з цим похибок розрахунку в межах одного рівня напружень. Основні чинники, які спричиняють розкид результатів за довговічністю (різниця в механообробці труб, партіях поставки, відмінностях технологій виготовлення труб різних заводів-виробників тощо), не впливають на загальні закономірності процесу деформації та руйнування матеріалу, зокрема на його стадійність. У зразках з більшою абсолютною довговічністю фіксується нижчий рівень амплітуди циклічної деформації на II-ій стадії та швидкість її зміни на I-ій стадії, проте сумарна відносна тривалість стадій залишається практично незмінною для всіх зразків, які піддавались випробуванням за однакової амплітуди напружень та однакових умов навантаження. Таким чином, запропонований параметр відносної довговічності дає змогу проводити порівняльний аналіз труб однієї марки сталі для різних виробників та оптимізувати їх вибір для будівництва трубопроводів не лише за стандартними фізико-механічними характеристиками, а й з урахуванням майбутніх передексплуатаційних та експлуатаційних навантажень [1, 2].

Криві втоми дозволяють визначити коефіцієнт зменшення довговічності матеріалу трубопроводу з урахуванням передексплуатаційних навантажень:

$$K_{IJ} = \frac{N_J}{N}, \quad K_{IS} = \frac{N_S}{N}, \quad (1)$$

де K_{IJ} та K_{IS} – коефіцієнти зменшення довговічності з урахуванням передексплуатаційних навантажень для J- та S-методу відповідно; N_J , N_S та N – довговічність матеріалу трубопроводу з переднавантаженням J- і S-методом та без нього відповідно.

Таким чином, ресурс експлуатації матеріалу трубопроводу з урахуванням передексплуатаційних навантажень буде визначатися за формулами

$$P_J = K_{1J}P, P_S = K_{1S}P, \quad (2)$$

де P_J та P_S – ресурс експлуатації матеріалу трубопроводу з урахуванням передексплуатаційних навантажень для J- та S-методу відповідно; P – проектний ресурс роботи морського трубопроводу.

Відповідно, ресурс безпечної експлуатації матеріалу трубопроводу з урахуванням передексплуатаційних навантажень та без нього буде визначатися за формулами

$$PB_J = K_{1S}w_S P, PB_S = K_{1S}w_S P, PB = wP, \quad (3)$$

де PB_J , PB_S та PB – ресурс безпечної експлуатації матеріалу трубопроводу з урахуванням передексплуатаційних навантажень для J- і S-методу та без нього відповідно; w_J , w_S та w – відносний ресурс безпечної експлуатації матеріалу трубопроводу з переднавантаженням J- і S-методом та без нього відповідно.

Криві корозійної втоми дозволяють визначити коефіцієнти впливу агресивності середовища на довговічність матеріалу трубопроводу:

$$K_{2J} = \frac{N^k}{N}, K_{2S} = \frac{N_S^k}{N_S}, K_2 = \frac{N_S^k}{N_S}, \quad (4)$$

де K_{2J} , K_{2S} та K_2 – коефіцієнти впливу агресивності середовища на довговічність матеріалу трубопроводу з переднавантаженням J- і S-методом та без нього в середовищі морської води відповідно; N_J^k , N_S^k та N^k – довговічність матеріалу трубопроводу з переднавантаженням J- і S-методом та без нього в середовищі морської води відповідно.

Таким чином, ресурс експлуатації матеріалу трубопроводу з пошкодженим ізоляційним покриттям з урахуванням передексплуатаційних навантажень та без нього буде визначатися за формулами

$$P_J^k = K_{1J}K_{2J}P, P_S^k = K_{1S}K_{2S}P, P^k = K_2P, \quad (5)$$

де P_J^k , P_S^k та P^k – ресурс експлуатації матеріалу трубопроводу з пошкодженим ізоляційним покриттям з урахуванням передексплуатаційних навантажень для J- і S-методу та без нього відповідно.

Відповідно, ресурс безпечної експлуатації матеріалу трубопроводу з пошкодженим ізоляційним покриттям з урахуванням передексплуатаційних навантажень та без нього буде визначатися за формулами

$$PB_J^k = K_{1J}K_{2J}w_J^k P, PB_S^k = K_{1S}K_{2S}w_S^k P, PB^k = K_2w^k P, \quad (6)$$

де PB_J^k , PB_S^k та PB^k – ресурс безпечної експлуатації матеріалу трубопроводу з пошкодженим ізоляційним покриттям з урахуванням передексплуатаційних навантажень для J- і S-методу та без нього відповідно; w_J^k , w_S^k та w^k – відносний ресурс безпечної експлуатації матеріалу трубопроводу з переднавантаженням J- і S-методом та без нього в середовищі морської води відповідно.

Таким чином, розроблена методика дає змогу за результатами модельних експериментів оцінити вплив передексплуатаційних навантажень в процесі укладання на ресурс безпечної експлуатації морських нафтогазопроводів.

Література

1. Побережний Л. Я. Напружено-деформований стан трубопроводів під час їх укладання на дно моря S- та J-методами / Л. Я. Побережний, Т. Ю. Пиріг // Науковий вісник ІФНТУНГ. – 2010. – № 3(25). – С. 91-96.
2. Побережний Л. Я. Втомна довговічність та кінетика деформації матеріалу трубопроводу при низькочастотному навантаженні / Л. Я. Побережний, Т. Ю. Пиріг // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – 2012. – № 3(44). – С. 87-96.