

ДОСЛІДЖЕННЯ ТРЕНДУ ВТОМНОЇ МІЦНОСТІ З МЕТОЮ ОЦІНКИ ЗАЛИШКОВОГО РЕСУРСУ НАФТОПРОВОДУ «ОДЕСА-БРОДИ»

Р.Т. Мартинюк, Т.І. Твердушко

*ІФНТУНГ, 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел.(03422) 42157,
e-mail: snr@nuing.edu.ua*

Будь-який елемент магістрального нафтопроводу призначений для виконання заданих функцій у відповідних умовах виробничої і технічної експлуатації. Ці функції реалізуються у робочому технічному стані, який характеризується сукупністю структурних параметрів, значення яких перебувають у визначених межах. Структурні параметри контролюються шляхом вимірювання діагностичних параметрів і оцінювання якісних ознак технічного стану елемента. Всі показники надійності, зрештою, залежать від технічного стану лінійної частини нафтопроводу, стабільності її структури, терміну збережень значень параметрів технічного стану в заданих межах. Перевищення хоча б одним структурним параметром граничного значення означає порушення цілісності або робочої придатності нафтопроводу. Серед великої кількості показників, що характеризують технічний стан лінійної частини нафтопроводу, існують такі, зміна яких значною мірою впливає на ресурс системи. На сьогодні досить актуальним є використання закономірностей тренду критеріїв з метою визначення залишкового ресурсу.

У статті розглянутий вплив втомоної міцності і тріщиностійкості трубної сталі марки 13Г1СУ на залишковий ресурс нафтопроводу «Одеса-Броди». Побудовані функціональні залежності критерію втомоної міцності сталі від часу експлуатації, що дають змогу оцінити залишковий ресурс нафтопроводу.

Ключові слова: надійність, залишковий ресурс, технічна експлуатація нафтопроводу.

Любой элемент магистрального нефтепровода предназначен для выполнения заданных функций в соответствующих условиях производственной и технической эксплуатации. Эти функции реализуются в рабочем техническом состоянии, которое характеризуется совокупностью структурных параметров, значения которых находятся в определенных границах. Структурные параметры контролируются путем измерения диагностических параметров и оценивания качественных признаков технического состояния элемента. Все показатели надежности, в конечном итоге, зависят от технического состояния линейной части нефтепровода, стабильности ее структуры, срока сохранения значений параметров технического состояния в заданных границах. Превышение хотя бы одним структурным параметром предельного значения означает нарушение целостности или рабочей пригодности нефтепровода. Среди большого количества показателей, что характеризуют техническое состояние линейной части нефтепровода, существуют такие, изменение которых в значительной мере влияет на ресурс системы. На сегодня достаточно актуальным является использование закономерности тренду критериев с целью определения остаточного ресурса.

В статье рассмотрено влияние усталостной прочности и трещиностойкости трубной стали марки 13Г1СУ на остаточный ресурс нефтепровода «Одесса-Броды». Построены функциональные зависимости критерия усталостной прочности стали от времени эксплуатации, что дают возможность оценить остаточный ресурс нефтепровода.

Ключевые слова: надежность, остаточный ресурс, техническая эксплуатация нефтепровода.

Any element of main oil pipeline is assigned to perform set functions in the appropriate production and maintenance conditions. These functions are realized in the working technical state, which is characterized by the range of structural parameters the values of which are within set borders. Structural parameters are controlled by measuring diagnostic parameters and evaluation of high-quality signs of the technical state of the element. All reliability indexes, eventually, depend on the technical state of the linear part of oil pipeline, stability of its structure, term of storing values of parameters of the technical state in the set scopes. Excess by at least one structural parameter of maximum value means the violation of integrity or working adequacy of oil pipeline. Among a great number of indexes that characterize the technical state of the linear part of oil pipeline, there are those the change of which to a great extent affects the resource of the system. Nowadays the use of trend criteria conformities in order to determine the remaining resource is rather essential.

The influence of fatigue strength and fracture toughness of the pipe steel mark 13G1SU on the remaining resource of «Odesa-Brody» is investigated in the article. Functional dependences of steel fatigue resistance criterion from time of exploitation that provide an opportunity to estimate the remaining resource of oil pipeline are developed.

Keywords: reliability, remaining resource, maintenance of oil pipeline.

З позицій трубопровідного будівництва одним із найперспективніших напрямів прогнозування є визначення кількісних показників надійності нафтопроводу за результатами контролю якості його спорудження. Прогнозування надійності як процес науково обґрунтованого прогнозу конструктивно-технологічних і експлуатаційних властивостей конструкції спира-

ється на конкретні критерії якості, вибір яких залежить від призначення цієї конструкції і поставлених вимог. Дослідженням якісних показників спорудження і експлуатації магістральних трубопроводів на параметри їх надійності, живучості і довговічності присвячено праці Березіна В.Л., Бородавкіна П.П., Бусленка Н.П., Молдаванова О.І., Яковлева Є.І. тощо. У цих

Таблиця 1 – Залежність зміни напруження в часі

Тип сталі	Кількість циклів до руйнування, N	Значення напруження σ , МПа	Час експлуатації t , год.	Розрахункове напруження σ , МПа,
Зразки з нової сталі	192000	250	88,1	265,8
	297000	223	136,3	242,4
	490000	176	224,9	204,6
	741000	139	339,9	164,3
	1004000	125	461,8	130,2
	1396000	125	640,9	92,5
	1578000	124	724,4	78,8
	1709000	125	780,9	70,7
Зразки зі сталі (1)	151000	183	69,3	160,6
	200000	162	91,7	153,1
	265000	136	121,9	143,6
	476000	95	218,6	117,0
	1007000	70	462,4	69,8
	1170000	65	537,2	59,6
	1529000	62	702,5	41,9
	1735000	63	796,7	34,3
Зразки зі сталі (2)	165000	229	75,8	216,9
	270000	193	123,7	196,9
	343000	168	157,7	183,8
	622000	120	285,9	141,9
	1008000	97	463,1	99,2
	1200000	96	551,1	83,1
	1500000	92	688,4	77,1
	1731000	92	794,8	50,8

працях вирішуються завдання оптимізації процесів спорудження магістральних трубопроводів в умовах технологічної невизначеності інформації та забезпечення заданого рівня надійності за певних заходів будівельних робіт. Однак, завдання стохастичного підходу до питань втрати якості системи на етапі її експлуатації, а також впливу якості будівельних робіт на показники надійності в умовах невизначеності вихідної інформації залишаються на даний час не реалізованими.

Дослідженням міцності та тріщиностійкості трубопроводних сталей присвячено низку робіт вітчизняних [2, 4] та зарубіжних вчених [5]. У них розроблено загальні методики випробувань, показано їх результати та встановлено характерні закономірності деградації матеріалів трубних сталей. Однак вказується, що кожна із сталей є неповторною системою, механічні характеристики якої та їх зміна у часі може суттєво відрізнятися від аналогічних характеристик інших сталей. Тому вивчення механічних властивостей трубної сталі марки 13Г1СУ, з якої споруджена траса нафтопроводу «Одеса-Броди», має практичне значення для дослідження надійності нафтопроводу. Для проведення досліджень з метою визначення залишкового ресурсу нафтопроводу використано результати втомних випробувань зразків трубної сталі мар-

ки 13Г1СУ, що були вирізані з труб нафтопроводу та оброблені до необхідних розмірів. З метою дослідження зразків з даних ділянок траси нафтопроводу та порівняння їх із зразками з нової труби було використано: дослідні зразки з нової сталі, дослідні зразки сталі нафтопроводу, вирізані з труби, яка була у експлуатації (1), та дослідні зразки сталі нафтопроводу, що були вирізані з труби, яка була законсервована в середовищі вапнякового молока та перебувала в експлуатації (2).

Результати втомних випробувань систематизовані в таблиці 1.

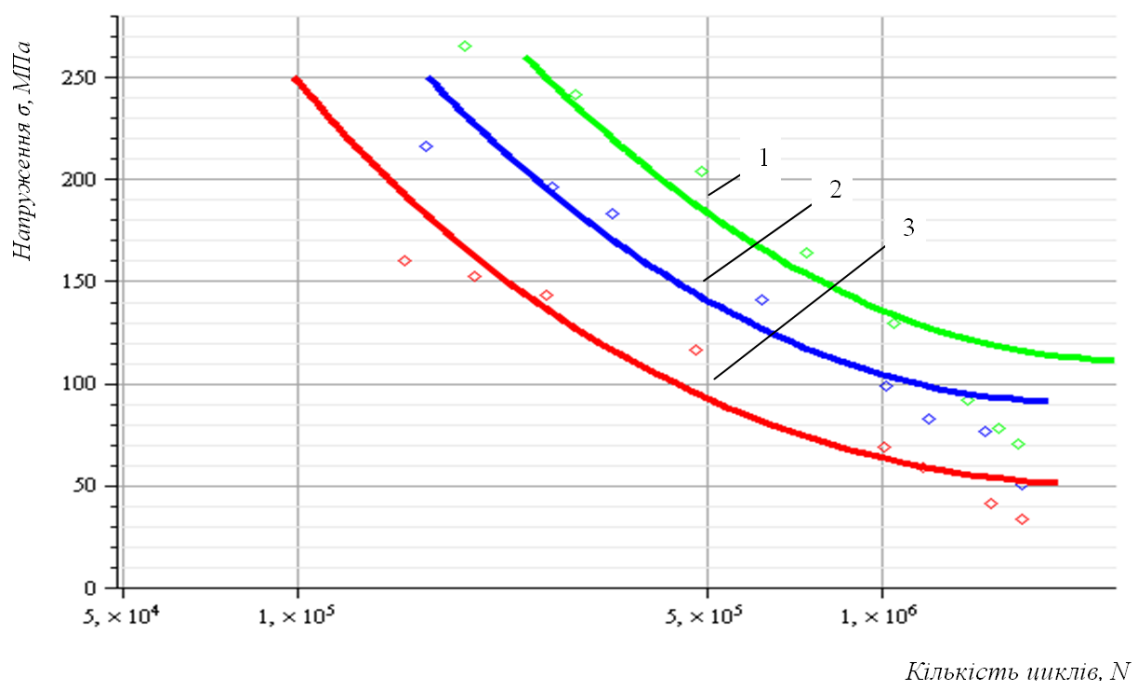
Для переведення кількості циклів навантаження N за частоти ω у час експлуатації було використано формулу

$$t = \frac{N}{\omega} = \frac{2\pi \cdot N}{f}. \quad (1)$$

Тоді залежність зміни напружень границі втомної міцності у ході експлуатації за циклічної частоти 3,8 Гц може бути апроксимована експоненціальною функцією виду

$$\sigma = A \cdot \exp(-\alpha \cdot t), \quad (2)$$

де A, α – коефіцієнти, що характеризують величину і темп зменшення напружень границі витривалості в часі і підлягають визначенню.



1 – зразок з нової сталі; 2 – зразок із сталі (2); 3 – зразок із сталі (1)

Рисунок 1 – Криві втоми

Перший з них можна прийняти за початкове значення границі витривалості, а другий – як характеристику темпу зменшення границі витривалості у ході експлуатації, тобто за коефіцієнт старіння нафтопроводу.

За даними, вказаними в таблиці 1, з використанням залежності (2) побудовано функції криві втоми для різних зразків трубної сталі марки 13Г1СУ. Величини коефіцієнтів в емпіричній залежності (2) для різних зразків визначено за методом найменших квадратів і подані в таблиці 2.

Таблиця 2 – Значення коефіцієнтів в емпіричній залежності для різних зразків

Характеристика сталі зразка	A, МПа	$10^{-3} \alpha$, 1/год
Нова сталь	120	0,00191
Зразок із сталі (2)	90	0,00212
Зразок із сталі (1)	60	0,00202

Результати порівняння коефіцієнтів для зразків сталі (2) та (1) зі зразком із нової сталі (таблиця 2) свідчать про деградацію сталі: початкові значення границі витривалості при цьому зменшуються, а коефіцієнти старіння зростають. Слід також зауважити, що для зразка (2) початкові значення границі витривалості більші, а коефіцієнт старіння менший, ніж для зразка з сталі (1). Це свідчить, що консервація нафтопроводу в середовищі вапнякового молока підвищує його надійність. Нижчі показники тренду втомної міцності для зразків з нафтопроводу, що був в експлуатації, пояснюються тривалістю перебування труб в напруженому стані, викликаному внутрішнім тиском.

На рисунку 1 шляхом побудови кривих втоми в півлогарифмічній шкалі показано характер зміни границі витривалості для різних зразків трубної сталі марки 13Г1СУ.

Побудовані таким чином функціональні залежності критерію втомної міцності сталі від часу експлуатації дають змогу оцінити ентропійний ресурс нафтопроводу, одержаної на основі термодинамічного підходу до процесу старіння системи

$$P = P_0 \cdot \exp\left(-\frac{\mu}{v|\Omega_{sp} - \Omega_0|} \int_0^{T_\Omega} \Omega(t) dt\right). \quad (3)$$

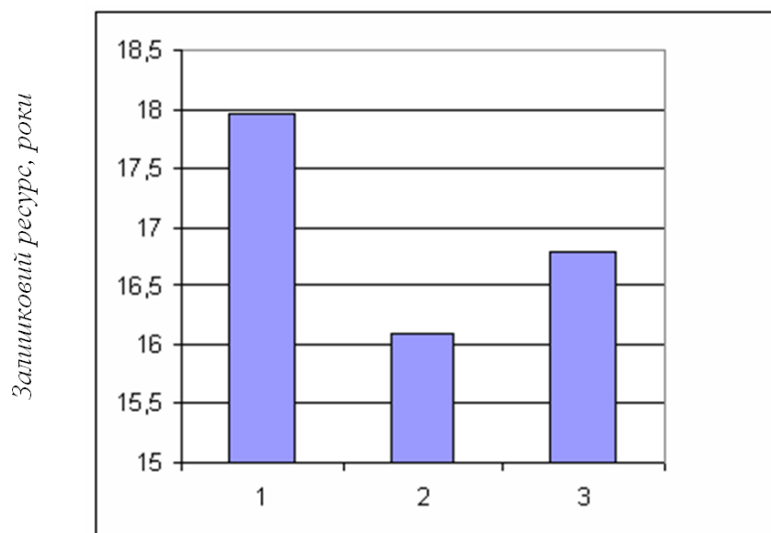
Формула (3), що встановлює взаємозв'язок між параметрами якості нафтопроводу, його ресурсом і ймовірностями початкового (стосовно параметра Ω_0) і кінцевого (стосовно параметра Ω_{sp}) станів, за умови побудови функції $\Omega(t) = \sigma(t)$, граничних значень критерію $\Omega_0 = \sigma_0$ і $\Omega_{sp} = \sigma_{sp}$ та ймовірностей їх існування P_0 і P відповідно дає змогу визначити залишковий ресурс T_Ω . Якщо залежність $\sigma(t)$, то за формулою (3) отримаємо

$$\ln \frac{P_0}{P} = \frac{\mu(1 - e^{-\alpha T_\Omega})}{v \cdot \alpha(\sigma_0 - \sigma_{sp})}. \quad (4)$$

Звідси

$$T_\Omega = -\frac{1}{\alpha} \cdot \ln \cdot \left(1 - \frac{v}{\mu} \alpha \cdot (\sigma_0 - \sigma_{sp}) \cdot \ln \frac{P_0}{P}\right). \quad (5)$$

Для розрахунку залишкового ресурсу в роках прийнято співвідношення



1 – зразки з нової сталі; 2 – зразки із сталі (1); 3 – зразки із сталі (2)

Рисунок 2 – Гістограма розподілу залишкового ресурсу

$$\frac{v}{\mu} = \frac{8760}{9,81 \cdot 10^6 \cdot 10^{-3}} = 0,982 \frac{\text{год}}{\text{МПа}}$$

($t=8760 \text{ год}$ – к-сть годин у календарному році).

Для подальших математичних розрахунків використовуємо експериментально визначені [2] для різних типів зразків величини границі втомної міцності складає 120 МПа для нової сталі з медіанною ймовірністю, а граничне значення напружень – 101,2 МПа з ймовірністю 0,95, одержимо значення залишкового ресурсу (в даному випадку повного, оскільки труби з нової сталі) $T_{\sigma_0} = 23,96$ роки. Аналогічні розрахунки проведено для дослідних зразків сталі нафтопроводу типу (1) та (2). Результати склали:

$$T_{\sigma_1} = 16,09 \text{ років}, T_{\sigma_2} = 16,79 \text{ років}.$$

Отримані з врахуванням терміну реальної експлуатації нафтопроводу «Одеса-Броди» (6 років), результати ілюструє гістограма, представлена на рисунку 2.

Аналіз отриманих результатів свідчить про зниження початкової якості, закладеної під час спорудження магістрального нафтопроводу, внаслідок деградації матеріалу трубної сталі. Так, за 6 років експлуатації ділянки нафтопроводу, що не підлягала консервації, залишковий ресурс порівняно з прогнозованим знизився на 10,4 %, а у випадку консервації нафтопроводу в середовищі вапнякового молока – на 6,5 %, що свідчить про достатню якість збереження трубної сталі в середовищі вапнякового молока.

Висновок. За результатами проведених втомних випробовувань зразків трубної сталі марки 13Г1СУ визначено залишковий ресурс нафтопроводу «Одеса-Броди». З ділянки нафтопроводу, що не підлягала консервації, залишковий ресурс знизився порівняно з прогнозом на 10,4 %. У випадку консервації нафтопроводу в середовищі вапнякового молока на цей ж період залишковий ресурс знизився порівняно з

прогнозом на 6,5 %, що свідчить про високу якість зберігання трубної сталі в середовищі вапнякового молока.

Завданням наступних досліджень є впровадження отриманих результатів в практику використання нафтопроводу «Одеса-Броди».

Література

1 Мартинюк Р.Т. Вплив якості спорудження нафтопроводів на їх експлуатаційну надійність [Текст] : дис. ... канд. техн. наук : 08.04.10 / Мартинюк Ростислав Тарасович. – Івано-Франківськ, 2010. – 162 с.

2 Грудз В.Я. Типові розрахунки показників надійності систем газонафтопостачання. Комплексна галузева методика / Грудз В.Я., Гораль Л.Т., Степ'юк М.Д. та ін. // Прогнозування росту втомних тріщин в зварних з'єднаннях трубопроводів під тиском з урахуванням залишкових напружень. – Івано-Франківськ, Факел, 2009. – 76 с.

3 108. РД 50-345-82. Методические указания. Расчеты и испытания на прочность. Методы механических испытаний металлов. Определение характеристик трещиностойкости (вязкости разрушения) при циклическом нагружении. – М. : Изд-во стандартов, 1983. – 95 с.

4 Гуревич С. Е. О скорости распространения трещины и пороговых значениях коэффициента интенсивности напряжений в процессе усталостного разрушения. Усталость и вязкость разрушения металлов / С. Е. Гуревич, Л. Д. Едидович. – М. : Наука, 1974. – 95 с.

5 Carpinteri A. Propagation of surface cracks under cyclic loading / A. Carpinteri. : Handbook of fatigue crack propagation in metallic structures. – Elsevier Science B. V., 1994. – 105 p.

Стаття надійшла до редакційної колегії
16.06.11

Рекомендована до друку професором
В.Я. Грудзом