

УДК 621.181:669.017

**ОЦІНКА ЦІЛІСНОСТІ ЗВАРНИХ ТРУБ МАГІСТРАЛЬНИХ  
ГАЗОПРОВОДІВ ЗА ПРОЦЕДУРАМИ FITNET**І. Р. ДЗІОБА<sup>1</sup>, О. Т. ЦИРУЛЬНИК<sup>2</sup><sup>1</sup> Технічний університет Кельце, Польща;<sup>2</sup> Фізико-механічний інститут ім. Г. В. Карпенка НАН України, Львів

Оцінено цілісність прямолінійного елемента зварної труби магістрального газопроводу, експлуатованого 40 років, з використанням процедур FITNET згідно з підходом FAD (Failure assessment diagram). Визначено критичні розміри дефектів в основному металі (ОМ) – сталь 17Г1С і металі шва (МШ) повздовжнього зварного з'єднання труби запасу. Прийнято як граничні два значення тиску газу в трубопроводі 4,5 і 7,0 МПа. Показано, що за відсутності корозійно-наводнювального впливу транспортованого середовища ОМ труби як у вихідному стані, так і після тривалої експлуатації більш схильний до руйнування внаслідок досягнення критичного напруженого стану, ніж МШ.

**Ключові слова:** оцінювання цілісності, процедура FITNET, зварне з'єднання труби, магістральний газопровід, експлуатаційна деградація.

Деградація низьколегованих та вуглецевих сталей найвідчутніше проявляється у зниженні їх опору крихкому руйнуванню та водневному розтріскуванню, про що свідчать експлуатовані більше 20 років магістральні нафто- і газопроводи, резервуари зберігання нафти, енергетичне обладнання [1–5].

Найслабшими ланками відповідальних конструкцій тривалої експлуатації вважають зварні з'єднання (ЗЗ) [4–7]. Хоч характеристики міцності металу зварного шва, як правило, вищі, ніж основного (ОМ), однак, через неоднорідність структури, залишкові напруження, які можуть досягати межі текучості матеріалу, та пори і тріщини він особливо уразливий до втрати цілісності [8, 9].

Опрацьовано низку методик оцінювання цілісності ЗЗ, найвідоміші з яких BS 7910 [10], API 579 [11], JWES 2805 [12], SINTAP [13]. Недавно в структурі ESIS (European Structural Integrity Society) розроблено процедури FITNET (Fitness for Service Network Procedure) [14], в яких узагальнено і уніфіковано методи оцінювання цілісності конструкцій за підходами механіки руйнування. Процедури FITNET почали вживати для конструкцій енергетики, судно- і літакобудування, переробки і транспорту нафти тощо [15–19].

**Основні засади підходу FAD процедури FITNET.** Оцінювання цілісності елемента конструкції полягає [14, 20] у визначенні ступеня загрози його руйнування, який залежить від положення координат точки  $(L_{ri}, K_{ri})$  напруженого стану відносно кривої граничного стану (КГС)  $f(L_r)$  (рис. 1). Якщо точка  $(L_{ri}, K_{ri})$  знаходиться всередині зони, нижче КГС, то загрози руйнування немає і, навпаки, якщо вона поза цією зоною, то ризик існує. Аналізуючи зміну одного з параметрів, які впливають на напружений стан елемента (навантаження чи розмір дефекту), отримуємо криву навантаження. У точці її перетину з КГС визначають критичні параметри, за яких реалізуються умови для руйнування.

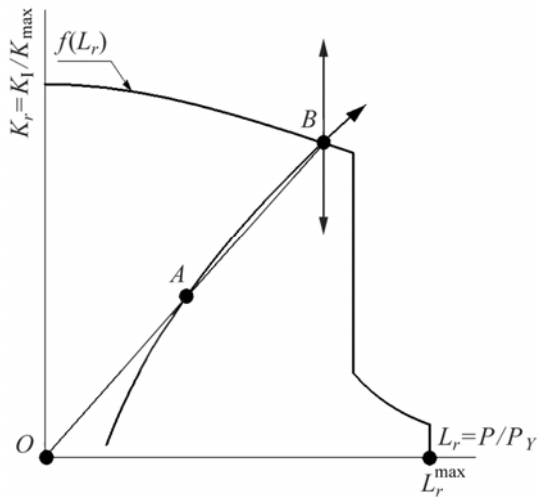


Рис. 1. Fig. 1.

Рис. 1. Оцінка елемента конструкції згідно з підходом FAD.

Fig. 1. Assessment of a structural element by FITNET according to FAD (failure assessment diagram) approach.

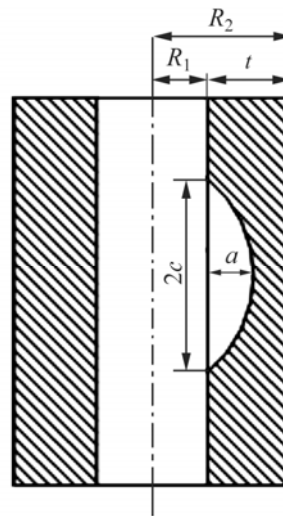


Рис. 2. Fig. 2.

Рис. 2. Схема тріщини в трубі з внутрішнім  $R_1$  і зовнішнім  $R_2$  радіусами.

Fig. 2. Scheme of a crack in a pipe with internal  $R_1$  and external  $R_2$  radii.

Цілісність елемента загалом оцінюють так: збирають дані про нього (геометричні розміри, наявність ЗЗ, схема силового навантаження) та про можливий дефект (тип, розміри і місце знаходження в елементі); моделюють дефект тріщиною відповідної геометрії (рис. 2); визначають характеристики міцності і тріщиностійкості ( $K_{mat}$ ) матеріалу; вибирають рівень оцінювання залежно від якості і надійності зібраних даних, поставлених завдань і можливостей; подають розподіл напружень у площині тріщини аналітичною функцією; розраховують граничне навантаження  $L_Y$ , за якого елемент переходить у пластичний стан, коефіцієнт інтенсивності напружень (КІН)  $K_1$  і будують криву граничного стану елемента  $f(L_r)$ ; визначають напружений стан труби в координатах  $L_r$  і  $K_r$ ; аналізують вплив тиску  $P$ , розміру дефекту  $a$ , які визначають цілісність елемента, щоб встановити їх критичні значення.

Об'єкт досліджень – прямий відтинок магістрального газопроводу з зовнішнім діаметром 530 mm ( $R_2 = 265$  mm) і товщиною стінки труби  $t = 8$  mm. Аналізували ОМ і метал шва (МШ) повздовжнього ЗЗ труби запасу та експлуатованої 40 років, виготовлених із сталі 17Г1С. Прийняли два значення тиску газу в трубопроводі 4,5 і 7,0 МПа як граничні. Припускали в ОМ і МШ труби дефекти типу напівеліптичних поверхневих осьових тріщин з постійним співвідношенням півосей  $a/c = 0,25$  (рис. 2). Визначали критичні розміри дефектів для заданих рівнів тиску для ОМ та МШ у вихідному та експлуатованому станах.

Тріщиностійкість  $K_{mat}$  розраховували за ударною в'язкістю згідно з рекомендаціями FITNET для відповідності значень  $KCV$  верхньому плато кривої крихко-в'язкого переходу [13, 14, 20]:

$$K_{mat} = \sqrt{\frac{E(0,53KCV^{1,28})(0,2^{0,133} \cdot KCV^{0,256})}{1000(1 - \nu^2)}}. \quad (1)$$

Для консервативного результату використали мінімальні значення  $\sigma_{0,2}$  і  $K_{mat}$  з вибірок даних для ОМ і МШ як у вихідному, так і експлуатованому станах (див. таблицю).

**Механічні характеристики ОМ та МШ у вихідному стані (00)  
та після 40 років експлуатації**

Матеріал	$\sigma_{0,2}$	$\sigma_B$	$KCV_2$ J/cm <sup>1/2</sup>	$K_{mat}$ МПа·м <sup>1/2</sup>
	МПа			
ОМ 00*	378	595	195	211
ОМ 40*	302	515	110	154
МШ 00	550	635	235	233
МШ 40	528	563	170	195

\* – дані з праці [5].

Оскільки тріщиностійкість  $K_{mat}$  визначена за результатами випроб на ударну в'язкість, цілісність оцінювали тільки на т. зв. базовому рівні з отриманням, відповідно, найконсервативнішого результату.

Розподіл колових (тангенціальних) напружень у стінці труби з внутрішньою тріщиною за тиску  $P$  визначали для ОМ так [21]:

$$\sigma_{\theta} = \frac{P \cdot R_1^2}{R_2^2 - R_1^2} \left( 1 + \frac{R_2^2}{R} \right). \quad (2)$$

А для МШ враховували залишкові напруження  $\sigma_{res}$ . Технологія виробництва труб зі швом передбачає термічну обробку, яка суттєво знижує напруження  $\sigma_{res}$ , однак повністю їх не усуває. Згідно з рекомендаціями FITNET вважають, що навіть після нагріву до температур нормалізації  $\sigma_{res}$  може досягати  $0,2 \div 0,3$  від межі текучості ОМ [8, 14]. В розрахунках  $\sigma_{res} = 0,25 \cdot \sigma_{0,2}$ . Отже, для МШ напруження, що діють на площину з тріщиною, є сумою  $\sigma = \sigma_{\theta} + \sigma_{res}$ . Зазначимо, що напруження від силових чинників у процедурі FITNET класифікують як первинні (*primary*), а залишкові – як вторинні (*secondary*).

КГС для базового рівня залежить тільки від границі текучості матеріалу і мало чутлива до інших механічних характеристик. Для ЗЗ у рівнянні для КГС беруть менші значення  $\sigma_{0,2}$  для ОМ і МШ. В нашому випадку вони властиві ОМ як у вихідному, так і експлуатованому станах. Оскільки за кривою розтягу ОМ не виявили полицки текучості, КГС описували рівнянням [13, 14, 20]:

$$f(L_r) = \left[ 1 + 0,5L_r^2 \right]^{-\frac{1}{2}} \left[ 0,3 + 0,7 \exp(-0,6L_r^6) \right], \quad \text{якщо } L_r \leq L_r^{\max}. \quad (3)$$

Тут

$$L_r^{\max} = 1 + (150 / \sigma_{0,2})^{2,5}, \quad (4)$$

а нормалізоване навантаження

$$L_r = P/P_Y, \quad \text{або } L_r = \sigma / \sigma_Y, \quad (5)$$

де  $P$  – тиск в трубі;  $\sigma$  – напруження, яке діє на площину елемента з тріщиною;  $P_Y$  – граничний тиск, за якого елемент з дефектом перейде у пластичний стан, тобто реалізується стан пластичного колапсу;  $\sigma_Y$  – границя текучості матеріалу елемента. Консервативніші оцінки отримують, застосовуючи критерій локальної пластичності, за яким елемент переходить у стан пластичного колапсу

су, якщо в перемичці між тріщиною і протилежною поверхнею досягнута наскрізна пластичність.

Граничний тиск [14]

$$P_Y = \sigma_{0,2} \left( \frac{s(1-\alpha) \ln \left( \frac{1+0,5\eta}{1-0,5\eta} \right) + c \ln \left( \frac{1+0,5\eta}{1-0,5\eta+\alpha\eta} \right)}{c+s(1-\alpha)} \right), \quad (6)$$

де 
$$s = \frac{\alpha\eta c}{(1-0,5\eta)M_g \ln \left( 1 + \frac{\alpha\eta}{1-0,5\eta} \right) - \alpha\eta}, \quad (7)$$

$$M_g = \sqrt{1 + 1,05 \frac{\alpha\eta}{\phi^2(1-0,5\eta)}}. \quad (8)$$

Тут  $\alpha = a/t$ ,  $\eta = t/r_m$ ,  $\phi = a/c$ ,  $r_m = 0,5 \cdot (R_1 + R_2)$ ,  $a$ ,  $c$ ,  $t$  – геометричні параметри труби і напівеліптичної поверхневої тріщини (рис. 2).

Залежності зміни навантаження  $L_r$  від відносної глибини тріщини  $a/t$  (рис. 3) для ОМ і МШ у вихідному і експлуатованому станах та двох рівнів тиску використовують для побудови кривих навантаження т. зв. діаграм FAD. Проте можемо визначити критичну довжину тріщини, коли нетто-переріз елемента переходить у пластичний стан. Порівнюючи розраховані за рівняннями (5)–(8) значення  $L_r = L_r(a/t)$  з граничною (для вибраного рівня оцінки) величиною  $L_r = L_r^{\max}$  (пряма лінія), отримали критичні довжини тріщин. Зокрема, якщо дефект розміщений в ОМ, то для неексплуатованої труби та тиску в ній  $P = 4,5$  МПа стан пластичного колапсу буде досягнуто при  $a/t = 0,67$  (рис. 3a), а після експлуатації труби – при  $a/t = 0,61$  (рис. 3b). Для тиску  $P = 7,0$  МПа критичний стан буде досягнуто при  $a/t = 0,49$  і  $0,40$  для вихідної і експлуатованої труби, відповідно.

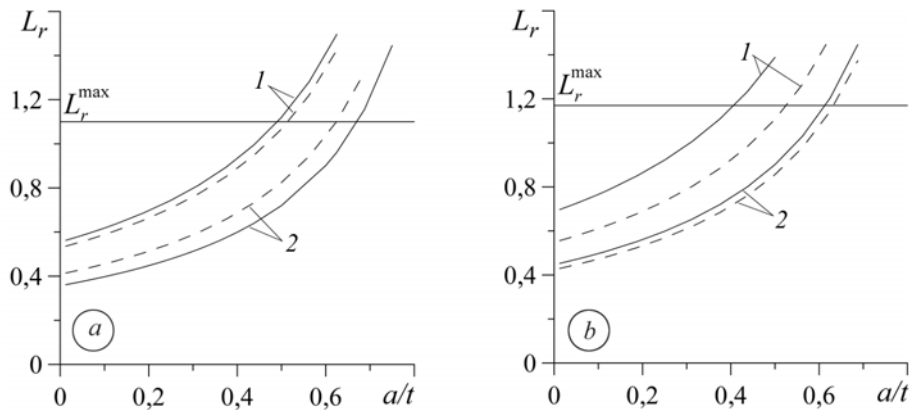


Рис. 3. Залежності  $L_r$ – $a/t$  для ОМ і МШ труби у вихідному стані (a) та після 40-річної експлуатації (b): штрихові лінії – ОМ; суцільні – МШ; 1 –  $P = 7,0$  МПа; 2 – 4,5.

Fig. 3. The  $L_r$ – $a/t$  curves for base metal (BM) and weld metal (WM) of a pipe in as-received state (a) and after 40-year service (b): dashed lines – BM; solid – WM; 1 –  $P = 7.0$  MPa; 2 – 4.5.

Штрихова лінія описує залежність  $L_r$ – $a/t$  (рис. 3) з урахуванням у МШ  $\sigma_{res} = 0,25 \cdot \sigma_{0,2}$  для ОМ. Для МШ за тиску  $P = 4,5$  МПа критичного стану в трубі буде досягнуто, якщо  $a/t = 0,62$  у вихідному стані, і  $a/t = 0,61$  – в експлуато-

ваному. Для тиску  $P = 7,0$  МПа співвідношення  $a/t = 0,51$  і  $0,50$  для вихідної і експлуатованої труби, відповідно.

Нормалізований КІН  $K_r$  у загальному вигляді визначають з рівняння [13, 14, 20]

$$K_r = \frac{K_I^P}{K_{mat}} + \frac{K_I^S}{K_{mat}} + \rho(a), \quad (9)$$

де  $K_I^P$  і  $K_I^S$  – КІН для аналізованого елемента, розраховані для зовнішнього навантаження і залишкових напружень. Коефіцієнт  $\rho(a)$  характеризує зв'язок між цими напруженнями, їх вплив на розмір пластичної зони і ефективну довжину тріщини, а для нашого випадку  $\rho(a) \leq 0,015$ . В ОМ діють тільки напруження від тиску і для визначення  $K_r$  в рівнянні (9) залишається лише перший доданок. Для розрахунку  $K_I^P$  використано рівні тиску  $P = 4,5$  чи  $7,0$  МПа. В МШ додатково діють залишкові напруження  $\sigma_{res} = 0,25 \cdot \sigma_{0,2}$ , які використовують для розрахунку  $K_I^S$ .

КІН  $K_I^P$  і  $K_I^S$  для осьової напівеліптичної тріщини на внутрішній поверхні труби (див. рис. 2) розраховано за методикою [11]:

$$K_I = \frac{PR_2^2}{R_2^2 - R_1^2} \left[ 2G_0 - 2G_1 \left( \frac{a}{R_1} \right) + 3G_2 \left( \frac{a}{R_1} \right)^2 - 4G_3 \left( \frac{a}{R_1} \right)^3 + 5G_4 \left( \frac{a}{R_1} \right)^4 \right] \sqrt{\frac{\pi a}{Q}}, \quad (10)$$

де 
$$Q = 1 + 1,464 \left( \frac{a}{c} \right)^{1,65}, \quad \text{якщо } a/c \leq 1,0. \quad (11)$$

У рівнянні (10) коефіцієнти  $G_i$  визначають за геометричними розмірами труби і тріщини [11]. Для розрахунку  $K_I^S$  введено тиск  $P_{res}$ , який створює в трубі колові напруження  $\sigma_{res} = 0,25 \cdot \sigma_{0,2}$ .

Залежності  $K_r - a/t$  (рис. 4), побудовані за рівняннями (9)–(12) для ОМ і МШ труби у вихідному і експлуатованому станах, придатні для побудови діаграм FAD. Однак за ними можна оцінити цілісність елемента за реалізації критерію тріщиностійкості.

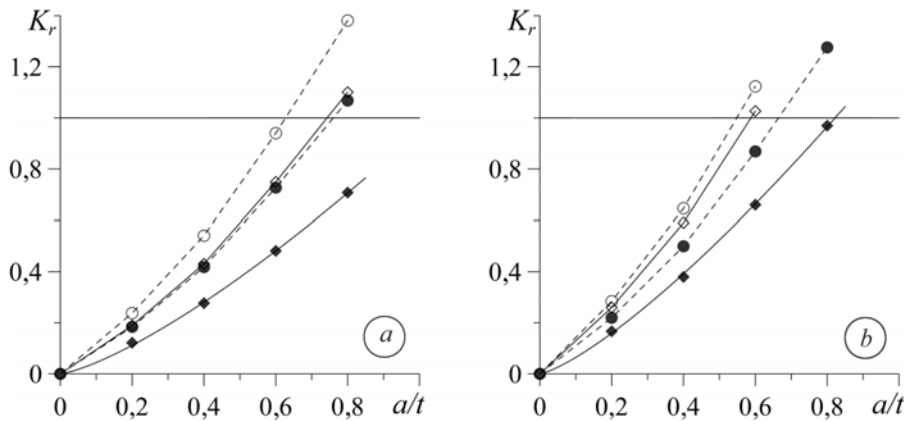


Рис. 4. Залежності  $K_r - a/t$  для ОМ і МШ:  $a$  – вихідний стан;  $b$  – після експлуатації; штрихові лінії – ОМ; суцільні – МШ;  $\circ, \diamond$  –  $P = 7,0$  МПа;  $\bullet, \blacklozenge$  –  $4,5$ .

Fig. 4. The dependences of  $K_r - a/t$  for BM and WM:  $a$  – as-received state;  $b$  – after service; dashed lines – BM; solid – WM;  $\circ, \diamond$  –  $P = 7.0$  MPa;  $\bullet, \blacklozenge$  –  $4.5$ .

Для труби у вихідному стані (рис. 4а) у МШ можна досягнути критичного рівня  $K_r$  за умови  $a/t = 0,76$ ,  $P = 4,5$  МПа і врахування  $\sigma_{res}$ . В ОМ рівень  $K_r$  за цього тиску не критичний, навіть якщо тріщина пронизує стінку труби. Для граничного тиску 7,0 МПа критичній ситуації в ОМ відповідає  $a/t = 0,74$ , а в МШ –  $a/t = 0,63$ .

Після експлуатації труби тріщиностійкість  $K_{mat}$  ОМ знижується з 211 до 154 МПа·м<sup>1/2</sup>, в результаті критичний стан для  $P = 4,5$  МПа реалізується, якщо  $a/t = 0,82$  (рис. 4b). Для МШ, враховуючи напруження  $\sigma_{res}$ ,  $a/t = 0,59$ . З іншого боку, для  $P = 7,0$  МПа маємо  $a/t = 0,59$  і 0,55 для ОМ і МШ, відповідно.

Оцінка цілісності елемента за діаграмами FAD. Результати такої оцінки для ОМ і МШ за тисків 4,5 і 7,0 МПа подано на рис. 5. На кривих навантаження нанесено відповідні точки, які є кратними  $0,2 \cdot a/t$ . Критичний розмір дефекту визначають за координатами точки їх перетину ( $L_r, K_r$ ) з КГС, яка на діаграмі FAD відділяє область безпечних параметрів експлуатації від області, в якій існує загроза руйнування елемента.

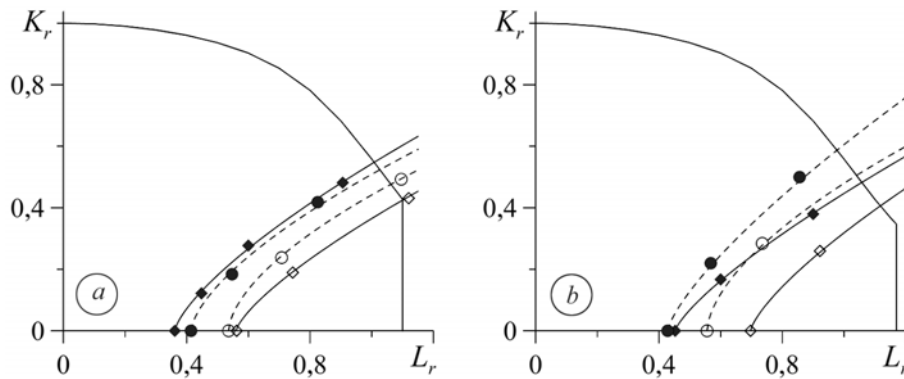


Рис. 5. Діаграма FAD 33 для вихідного стану (а) і після експлуатації (b):  
○, ◇ –  $P = 7,0$  МПа; ●, ◆ – 4,5.

Fig. 5. FAD assessment of welded component in as-received state (a) and after service (b):  
○, ◇ –  $P = 7.0$  MPa; ●, ◆ – 4.5.

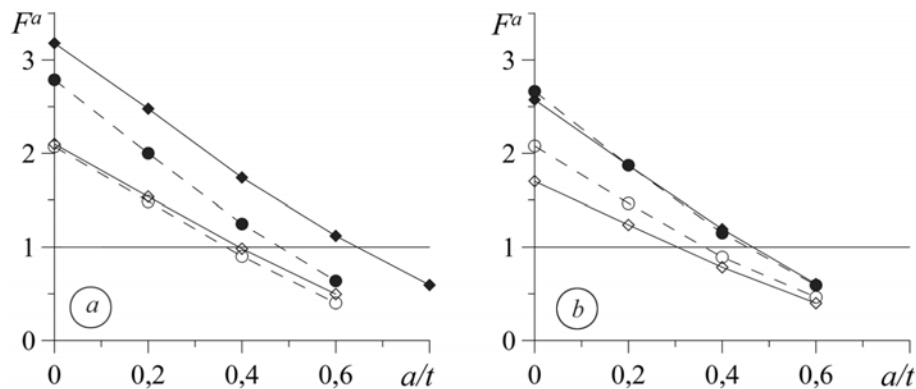


Рис. 6. Залежність коефіцієнта запасу  $F^a$  від  $a/t$  для ОМ і МШ 33 до (а) і після експлуатації (b): штрихові лінії – ОМ; суцільні – МШ; ○, ◇ –  $P = 7,0$  МПа; ●, ◆ – 4,5.

Fig. 6. The reserve factor  $F^a$  as a function of  $a/t$  for BM and WM of welded component in as-received state (a) and after service (b): dashed lines – BM; solid – WM;  
○, ◇ –  $P = 7.0$  MPa; ●, ◆ – 4.5.

Наочним є подання результатів оцінювання через коефіцієнт запасу  $F^a$  як функції  $a/t$  (рис. 6). Його визначають з діаграм FAD як відношення довжини відрізка  $OB$  до довжини відрізка  $OA$ , що характеризують критичний і аналізований стани відповідно (див. рис. 1). Так можна встановити, який запас ще має конструкція до досягнення критичного стану за аналізованим параметром  $a/t$ . Зокрема,  $F^a$  у МШ за 40 років експлуатації знижується всього на  $\sim 3 \dots 5\%$ , у той час як в ОМ – на  $25 \dots 30\%$ .

Критичні довжини тріщин, отримані за діаграмами FAD, є менші, ніж з окремих оцінок за граничним навантаженням або тріщиностійкістю, тобто консервативніші. Таким чином, ОМ труби як у вихідному стані, так і після тривалої експлуатації схильніший до руйнування внаслідок досягнення критичного напруженого стану, ніж МШ. Лінії (рис. 5), які характеризують стан труби, перетинають криву граничного стану в області високих  $L_r$ , що передбачає руйнування, в основному, внаслідок пластичного течіння матеріалу.

Отже, побудована для труби з тріщиноподібним дефектом за процедурою FITNET діаграма руйнування FAD слугує критерієм її роботоздатності, що з одного боку, характеризує критичний стан труби, з досягненням якого вона втрачає цілісність, а з іншого – придатна для розрахунку залишкового ресурсу трубопроводу за виявленими діагностуванням некритичними дефектами (дрібні пори, мікротріщини і інші неоднорідності). Вони можуть розвинутися у макротріщини критичного розміру внаслідок сумісної дії експлуатаційного (статичного і циклічного) навантаження та корозійно-наводнювального середовища (водного конденсату). Це властивіше МШ, що суттєво підвищує ризик саме його руйнування. В цьому випадку процедура FITNET передбачає використання експериментальних залежностей докритичного втомного та (чи) корозійно-механічного росту тріщин.

**РЕЗЮМЕ.** Оценена целостность прямолинейного элемента сварной трубы магистрального газопровода, эксплуатируемого 40 лет, с использованием процедур FITNET согласно подходу FAD (Failure assessment diagram). Определены критические размеры дефектов для основного металла (ОМ) – сталь 17Г1С и металла шва (МШ) продольного сварного соединения трубы запаса и длительно эксплуатируемой. Принято как предельные два значения давления газа в трубопроводе 4,5 и 7,0 МПа. Показано, что в отсутствие корозионно-наводороживающего влияния транспортируемой среды ОМ трубы как в исходном состоянии, так и после длительной эксплуатации более склонный к разрушению вследствие достижения критического напряженного состояния, нежели МШ.

**SUMMARY.** The evaluation of integrity of the rectilinear element of the welded main gas pipeline, exploited for 40 years, was carried out, using the FITNET procedure in accordance to FAD (Failure assessment diagram) approach. The critical sizes of defects for the base metal (BM) – 17G1C steel and weld metal (WM) of longitudinal welded joint for reserve pipe and long-term operated were determined. Two levels of pipeline gas pressure 4.5 and 7.9 MPa were taken as a critical value. It was shown that in the absence of hydrogenated influence of transported medium the BM of the pipe in as-received state and after long-term operation is more sensitive to fracture due to attaining the critical stress state than the WM.

1. Krasowsky A. Y., Dolgiy A. A., Torop V. M. Charpy testing to estimate pipeline steel degradation after 30 years of operation // Proc. of the Charpy Centenary Conference, eds. D. Francois, A. Pineau, Poitiers. – 2001. – V. 1. – P. 489–495.
2. [Експлуатаційне окрихчення сталі магістрального нафтопроводу / О. Т. Цирульник, Г. М. Никифорчин, О. І. Звірко, Д. Ю. Петрина // Фіз.-хім. механіка матеріалів. – 2004. – № 2. – С. 125–126.](#)  
(Tsyruk O. T., Nykyforchyn H. M., Zvirko O. I., and Petryna D. Yu., Embrittlement of the Steel of an Oil-Trunk Pipeline // Materials Science. – 2004. – № 2. – С. 302–304.)

Отформатировано: Шрифт: 9,5 пт, курсив

Отформатировано: Шрифт: 9,5 пт, курсив

Отформатировано: Шрифт: 9,5 пт, курсив

Отформатировано: Шрифт: 9,5 пт

Отформатировано: Шрифт: 9,5 пт

Отформатировано: Шрифт: 9,5 пт

Отформатировано: Шрифт: 9,5 пт

Отформатировано: Шрифт: 9,5 пт

Отформатировано: Шрифт: 9,5 пт

Отформатировано: Шрифт: 9,5 пт

Отформатировано: Шрифт: 9,5 пт

Отформатировано: Шрифт: 9,5 пт

Отформатировано: Шрифт: 9,5 пт

Отформатировано: Шрифт: 9,5 пт

Отформатировано: Шрифт: 9,5 пт

3. [Corrosion and stress corrosion cracking of exploited storage tank steel / A. Zagórski, H. Matysiak, O. Tsyruľnyk et al. // Фіз.-хім. механіка матеріалів, – 2004. – № 3. – С. 113–117.](#)  
(Zagorski A., Matysiak H., Tsyruľnyk O., Zvirko O., Nykyforchyn H., and Kurzydłowski K. Corrosion and Stress-Corrosion Cracking of Exploited Storage Tank Steel // Materials Science, – 2004. – № 3. – С. 421–427.)
4. [Никифорчин Г. М., Студент О. З., Марков А. Д. Аномальний прояв високотемпературної деградації металу шва зварного з'єднання оцядно легованої сталі // Там же, – 2007. – № 1. – С. 73–79.](#)  
(Nykyforchyn H. M., Student O. Z., and Markov A. D. Abnormal Manifestation of the High-Temperature Degradation of the Weld Metal of a Low-Alloy Steel Welded Joint // Materials Science. – 2007. – № 1. – P. 77–84.)
5. [Показники водневої деградації тривало експлуатованих сталей магістральних газопроводів / О. Т. Цирульник, Г. М. Никифорчин, Д. Ю. Петрина та ін. // Там же, – 2007. – № 5. – С. 97–104.](#)  
(Tsyruľnyk O. T., Nykyforchyn H. M., Petryna D. Yu., Hredil' M. I., and Dz'oba I. M. Hydrogen Degradation of Steels in Gas Mains after Long Periods of Operation // Materials Science. – 2007. – № 5. – P. 708–717.)
6. [Деградація зварних з'єднань парогонів теплоелектростанцій у наводнювальному середовищі / Г. М. Никифорчин, О. З. Студент, І. М. Дзьоба та ін. // Там же, – 2004. – № 6. – С. 105–110.](#)  
(Nykyforchyn H. M., Student O. Z., Dzioba I. R., Stepanyuk S. M., Markov A. D., and Onyshchak Ya. D., Degradation of Welded Joints of Steam Pipelines of Thermal Electric Power Plants in Hydrogenating Media // Materials Science. – 2004. – № 6. – P. 836–843.)
7. *Environmental Effects on Pipeline Steels: a Fitness-for-Service Perspective / J. A. Alvarez, F. Gutierrez-Solana, R. Lacalle, S. Cicero // ECF16, 2006.*
8. *Leggatt R. H. Estimation of through-wall distribution residual stresses in SSTP10 and SSTP12 // Welding Institute Report 24950/3/88, 1988.*
9. *Dzioba I. and Neimitz A. Application of the standard options of the FITNET Procedure to the structural integrity assessment of welded specimens containing cracks // Int. J. Pressure Vessel and Piping. – 2007. – 84, № 8. – P. 475–486.*
10. *British Standard BS 7910. Guide on Methods for Assessing the Acceptability of Flaws in Metallic Structures. – 2005.*
11. *API 579: Recommended practice for fitness-for-service. Washington DC, 2000.*
12. *JWES 2805–1997: Method of Assessment for defects in Fusion Welded Joints with Respect to Brittle Fracture and Failure due to Fatigue Crack Growth, 1997.*
13. *SINTAP: Structural Integrity Assessment Procedures for European Industry. Final Procedure, Brite-Euram Project No BE95-1426. – Rotterdam: British Steel, 1999.*
14. *FINDET: Fitness for Service (FFS) Procedure – Final Draft, 2006.*
15. *Guidelines for establishing fitness for purpose of welded constructions. TNO report 01F-001136/KPO. Bristol. March 2001.*
16. *Cicero S. and Alvarez J. A. Structural Integrity Assessment of Different Components of a Power Plant // Eng. Failure Analysis. – 2006. – № 3. – P. 123–128.*
17. *Hadley I. and Moore P. Fracture case studies for validation of fitness-for-service procedures. TWI Report 850/2006.*
18. *Dzioba I. Failure assessment analysis of pipelines for heat and power generating plants according to the SINTAP procedures // Int. J. Pressure Vessel and Piping. – 2005. – 82, № 10. – P. 787–796.*
19. [Дзіоба І. Р., Студент О. З., Марков А. Д. Про сучасний підхід SINTAP та його використання для оцінки роботоздатності зварних з'єднань парогонів ТЕС // Фіз.-хім. механіка матеріалів, – 2005. – № 6. – С. 70–79.](#)  
(Dzioba I. R., Student O. Z., and Markov A. D. On the Contemporary SINTAP Approach and Its Application to the Evaluation of the Serviceability of Welded Joints of Steam Pipelines of Thermal Power Plants // Materials Science. – 2005. – № 6. – P. 791–804.)
20. *Оцена wytrzymałości, trwałości i bezpieczeństwa pracy elementów konstrukcyjnych zawierających defekty / A. Neimitz, I. Dzioba, M. Graba, M. Okrajni. – Kielce: Politechnika Świętokrzyska, 2008. – 440 s.*
21. *Сопротивление материалов / Г. С. Писаренко, В. А. Агарев, А. Л. Квитка и др. – К.: Вищ. шк., 1986. – 775 с.*

**Удалено:** Походня И.К.  
Проблемы сварки высокопрочных низколегированных сталей // Сучасне матеріалознавство XXI століття. – К.: Наук. думка, 1998. – С.31-69. *Металлургия дуговой сварки. Взаимодействие металла с газами / И.К. Походня, И.Р. Явдошин, А.П. Пальцевич и др. - К.: Наук. думка, 2004. – 441 с.*

**Отформатировано** ... [1]

**Отформатировано** ... [2]

**Отформатировано** ... [3]

**Отформатировано** ... [4]

**Удалено:** А.Д. МАРКОВ,

**Отформатировано** ... [5]

**Отформатировано** ... [6]

**Отформатировано** ... [7]

Одержано 05.03.2009



<b>Стр. 64: [1] Отформатировано</b> Шрифт: 9,5 пт	<b>Andriy</b>	<b>10.09.2007 10:14:00</b>
<b>Стр. 64: [1] Отформатировано</b> Шрифт: 9,5 пт, курсив	<b>Andriy</b>	<b>10.09.2007 10:14:00</b>
<b>Стр. 64: [1] Отформатировано</b> Шрифт: 9,5 пт, курсив, украинский	<b>Andriy</b>	<b>10.09.2007 10:14:00</b>
<b>Стр. 64: [1] Отформатировано</b> Шрифт: 9,5 пт, курсив	<b>Andriy</b>	<b>10.09.2007 10:14:00</b>
<b>Стр. 64: [1] Отформатировано</b> Шрифт: 9,5 пт, курсив, украинский	<b>Andriy</b>	<b>10.09.2007 10:14:00</b>
<b>Стр. 64: [1] Отформатировано</b> Шрифт: 9,5 пт, курсив	<b>Andriy</b>	<b>10.09.2007 10:14:00</b>
<b>Стр. 64: [1] Отформатировано</b> Шрифт: 9,5 пт, украинский, не разреженный на / уплотненный на	<b>Andriy</b>	<b>10.09.2007 10:14:00</b>
<b>Стр. 64: [1] Отформатировано</b> Шрифт: 9,5 пт, курсив, украинский, не разреженный на / уплотненный на	<b>Andriy</b>	<b>10.09.2007 10:14:00</b>
<b>Стр. 64: [1] Отформатировано</b> Шрифт: 9,5 пт	<b>Andriy</b>	<b>10.09.2007 10:14:00</b>
<b>Стр. 64: [1] Отформатировано</b> Шрифт: 9,5 пт, украинский	<b>Andriy</b>	<b>10.09.2007 10:14:00</b>
<b>Стр. 64: [1] Отформатировано</b> Шрифт: 9,5 пт	<b>Andriy</b>	<b>10.09.2007 10:14:00</b>
<b>Стр. 64: [1] Отформатировано</b> Шрифт: 9,5 пт, украинский	<b>Andriy</b>	<b>10.09.2007 10:14:00</b>
<b>Стр. 64: [1] Отформатировано</b> Шрифт: 9,5 пт	<b>Andriy</b>	<b>10.09.2007 10:14:00</b>
<b>Стр. 64: [1] Отформатировано</b> Шрифт: 9,5 пт, украинский	<b>Andriy</b>	<b>10.09.2007 10:14:00</b>
<b>Стр. 64: [1] Отформатировано</b> Шрифт: 9,5 пт	<b>Andriy</b>	<b>10.09.2007 10:14:00</b>
<b>Стр. 64: [1] Отформатировано</b> Шрифт: 9,5 пт, украинский	<b>Andriy</b>	<b>10.09.2007 10:14:00</b>
<b>Стр. 64: [1] Отформатировано</b> Шрифт: 9,5 пт	<b>Andriy</b>	<b>10.09.2007 10:14:00</b>
<b>Стр. 64: [1] Отформатировано</b> Шрифт: 9,5 пт, украинский	<b>Andriy</b>	<b>10.09.2007 10:14:00</b>
<b>Стр. 64: [1] Отформатировано</b> Шрифт: 9,5 пт	<b>Andriy</b>	<b>10.09.2007 10:14:00</b>
<b>Стр. 64: [1] Отформатировано</b> Шрифт: 9,5 пт, украинский	<b>Andriy</b>	<b>10.09.2007 10:14:00</b>
<b>Стр. 64: [1] Отформатировано</b> Шрифт: 9,5 пт	<b>Andriy</b>	<b>10.09.2007 10:14:00</b>
<b>Стр. 64: [1] Отформатировано</b> Шрифт: 9,5 пт, украинский	<b>Andriy</b>	<b>10.09.2007 10:14:00</b>





<b>Стр. 64: [5] Отформатировано</b>	<b>Andriy</b>	<b>10.09.2007 10:14:00</b>
не все прописные, не разреженный на / уплотненный на		
<b>Стр. 64: [5] Отформатировано</b>	<b>Andriy</b>	<b>10.09.2007 10:14:00</b>
не все прописные, не разреженный на / уплотненный на		
<b>Стр. 64: [5] Отформатировано</b>	<b>Andriy</b>	<b>10.09.2007 10:14:00</b>
Шрифт: 9,5 пт		
<b>Стр. 64: [5] Отформатировано</b>	<b>Andriy</b>	<b>10.09.2007 10:14:00</b>
Шрифт: 9,5 пт		
<b>Стр. 64: [5] Отформатировано</b>	<b>Andriy</b>	<b>10.09.2007 10:14:00</b>
Шрифт: 9,5 пт		
<b>Стр. 64: [5] Отформатировано</b>	<b>Andriy</b>	<b>10.09.2007 10:14:00</b>
Шрифт: 9,5 пт		
<b>Стр. 64: [5] Отформатировано</b>	<b>Andriy</b>	<b>10.09.2007 10:14:00</b>
Шрифт: 9,5 пт		
<b>Стр. 64: [5] Отформатировано</b>	<b>Andriy</b>	<b>10.09.2007 10:14:00</b>
Шрифт: 9,5 пт		
<b>Стр. 64: [6] Отформатировано</b>	<b>Andriy</b>	<b>10.09.2007 10:14:00</b>
Шрифт: курсив, не все прописные, не разреженный на / уплотненный на		
<b>Стр. 64: [6] Отформатировано</b>	<b>Andriy</b>	<b>10.09.2007 10:14:00</b>
не разреженный на / уплотненный на		
<b>Стр. 64: [6] Отформатировано</b>	<b>Andriy</b>	<b>10.09.2007 10:14:00</b>
не разреженный на / уплотненный на		
<b>Стр. 64: [6] Отформатировано</b>	<b>Andriy</b>	<b>10.09.2007 10:14:00</b>
не все прописные, не разреженный на / уплотненный на		
<b>Стр. 64: [6] Отформатировано</b>	<b>Andriy</b>	<b>10.09.2007 10:14:00</b>
не все прописные, не разреженный на / уплотненный на		
<b>Стр. 64: [6] Отформатировано</b>	<b>Andriy</b>	<b>10.09.2007 10:14:00</b>
не все прописные, не разреженный на / уплотненный на		
<b>Стр. 64: [6] Отформатировано</b>	<b>Andriy</b>	<b>10.09.2007 10:14:00</b>
Шрифт: 9,5 пт		
<b>Стр. 64: [6] Отформатировано</b>	<b>Andriy</b>	<b>10.09.2007 10:14:00</b>
Шрифт: 9,5 пт		
<b>Стр. 64: [6] Отформатировано</b>	<b>Andriy</b>	<b>10.09.2007 10:14:00</b>
Шрифт: 9,5 пт		
<b>Стр. 64: [6] Отформатировано</b>	<b>Andriy</b>	<b>10.09.2007 10:14:00</b>
Шрифт: 9,5 пт		
<b>Стр. 64: [6] Отформатировано</b>	<b>Andriy</b>	<b>10.09.2007 10:14:00</b>
Шрифт: 9,5 пт		
<b>Стр. 64: [7] Отформатировано</b>	<b>Andriy</b>	<b>10.09.2007 10:14:00</b>
Шрифт: курсив, не все прописные, не разреженный на / уплотненный на		

