

## ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНОЇ НАДІЙНОСТІ ПРОТИПОМПАЖНИХ ЛІНІЙ ГАЗОПЕРЕКАЧУВАЛЬНИХ АГРЕГАТІВ ПІСЛЯ КАПІТАЛЬНОГО РЕМОНТУ

*В.І. Слободян*

*Богородчанське ЛВУМГ “Прикарпаттрансгаз” ДК “Укртрансгаз”,  
тел./факс: (03471) 22041*

*Проведено комплекс експериментальних досліджень із метою забезпечення надійності протипомпажних ліній газоперекачувальних агрегатів. Доведено можливість використання нових труб вітчизняного виробництва із сталі 09Г2С для повної заміни дефектних ділянок трубопроводу.*

*Ключові слова:* експлуатаційна надійність, газотранспортна система, дефекти трубопроводу

*Проведен комплекс експериментальних досліджень з метою забезпечення надійності протипомпажних ліній газоперекачувальних агрегатів. Доказана можливість використання нових труб вітчизняного виробництва із сталі 09Г2С для повної заміни дефектних ділянок трубопроводу.*

*Ключевые слова:* эксплуатационная надежность, газотранспортная система, дефекты трубопровода

*Series of experimental studies to ensure the reliability of pipeline gas compressor units are conducted. The possibility of using new pipes domestic production of steel 09Г2С for full replacement of the defective pipeline sections are proved.*

*Key words:* operational reliability, transmission system, defects in the pipeline

**Вступ.** Забезпечення експлуатаційної надійності газотранспортної системи України є надзвичайно актуальною і важливою науково-технічною проблемою. Це пояснюється стратегічним значенням стабільної безаварійної роботи газотранспортних підприємств для енергетичної безпеки держави та надійного транзиту газу до країн Європи. Проблема загострюється значним терміном експлуатації окремих об'єктів, який сягає 40-45 років. За такі великі проміжки часу в матеріалі труб газопроводів відбувається деградація властивостей матеріалу внаслідок корозійних процесів, підсилені впливом змінних у часі механічних напружень [1, 2]. Це цілком стосується протипомпажних ліній газоперекачувальних агрегатів (ГПА) ГТК-25і ст. № 1-3 КС-39 “У-П-У” УМГ “Прикарпаттрансгаз” ДК “Укртрансгаз”, виготовлених з імпортованих труб у 1982 році. У зв'язку з виявленими під час діагностування мікротріщинами та корозійними дефектами за чинними вимогами, несумісними з подальшою експлуатацією, було прийнято рішення про капітальний ремонт ліній з повною заміною труб. Запропоновано вирішення задачі шляхом заміни ділянок з переходом на труби вітчизняного виробництва. У зв'язку з цим постало питання забезпечення експлуатаційної надійності протипомпажних ліній після ремонту, що і є метою даної роботи.

Матеріали та методи досліджень. Протипомпажні лінії було виготовлено з труб діаметром 323,8 мм і товщиною стінки 8 мм зі сталі марки ST-E-385.7 (виробник – фірма “Манесман”, Німеччина). Хімічний склад сталі згідно з сертифікатом: С – 0,18%, Si – 0,59%, Mn – 1,60%, P – 0,03%, S – 0,02%, Al – 0,02-0,06%, V – 0,10%, Nb – 0,05%. Механічні характерис-

тики: границя міцності – 530 МПа, границя плинності – 390 МПа; відносне видовження  $\delta_5$  – 20%.

Заміну проведено на труби діаметром 325 мм і товщиною стінки 11 мм зі сталі марки 09Г2С (виробник – ЗАТ “Нікопольська трубна компанія”, Україна). Хімічний склад сталі згідно з сертифікатом: С – 0,08-0,11%, Si – 0,91-1,20%, Mn – 1,36-1,65%, P – 0,012-0,028%, S – 0,022-0,0322%. Механічні характеристики, не менше: границя міцності – 500 МПа, границя плинності – 350 МПа; відносне видовження  $\delta_5$  – 21%.

Дослідження проводились на моделях-вирізках труб на випробному стенді та методикою, наведеною в працях [3-5]. На рис. 1 зображено загальний вигляд моделі-вирізки.

Мікроструктуру сталей вивчали на оптичному мікроскопі МЕТАМ МГ-21. Фрактографічні дослідження поверхні втомного руйнування труб, проводили на електронному мікроскопі ЦЕЙС EVO-40XVP.

Результати експерименту та їх обговорення. У зв'язку з специфікою умов роботи протипомпажних ліній ГПА (пульсації тиску, посилена вібрація, корозія) основним критерієм забезпечення експлуатаційної надійності є їх висока втомна міцність. Тому проведено комплекс експериментальних досліджень, спрямованих на визначення характеристик опору втомі даних труб. Усього для експериментальних досліджень було виготовлено 12 зразків, з них 5 вирізано з експлуатованої протягом 24 років труби німецького виробництва і 7 – з нової труби зі сталі 09Г2С. З метою оцінювання ступеня небезпеки можливих концентраторів напружень на 2 зразках з нової труби було нанесено механічні пошкодження у вигляді надрізу



Рисунок 1 – Загальний вигляд зразка для випробувань на втомну міцність



а



б

а – загальний вигляд; б – злам

Рисунок 2 – Зразок з концентратором

методом шліфування (рис. 2, а), а на одному – ударом зубила. Зразки циклічно навантажували до повного руйнування (рис. 2, б).

Результати експериментальних досліджень втомної міцності моделей-вирізків зображено на рис. 3.

Криві втоми було побудовано за рівнянням [6]

$$N = \frac{Q}{\sigma_{\max}} \ln \left\{ 1 + \left[ \exp \left( \frac{\sigma_{\max} - \sigma_0}{V_0} \right) - 1 \right]^{-1} \right\},$$

де:  $N$  – кількість циклів до руйнування деталі;

$\sigma_{\max}$  – максимальне напруження циклу регулярного навантаження з постійним значенням коефіцієнта асиметрії  $r = \frac{\sigma_{\min}}{\sigma_{\max}} = 0$  (віднульове навантаження);

$\sigma_0$  – границя витривалості за віднульового навантаження;

$V_0$  – параметр з розмірністю напруження;

$Q = N_0 \cdot \sigma_0$  – коефіцієнт витривалості;

$N_0$  – параметр, який характеризує кількість циклів до точки нижнього перегину кривої втоми.

Для визначення параметрів кривих втоми використано метод найменших квадратів. Отримано такі параметри кривих втоми:

для нової труби

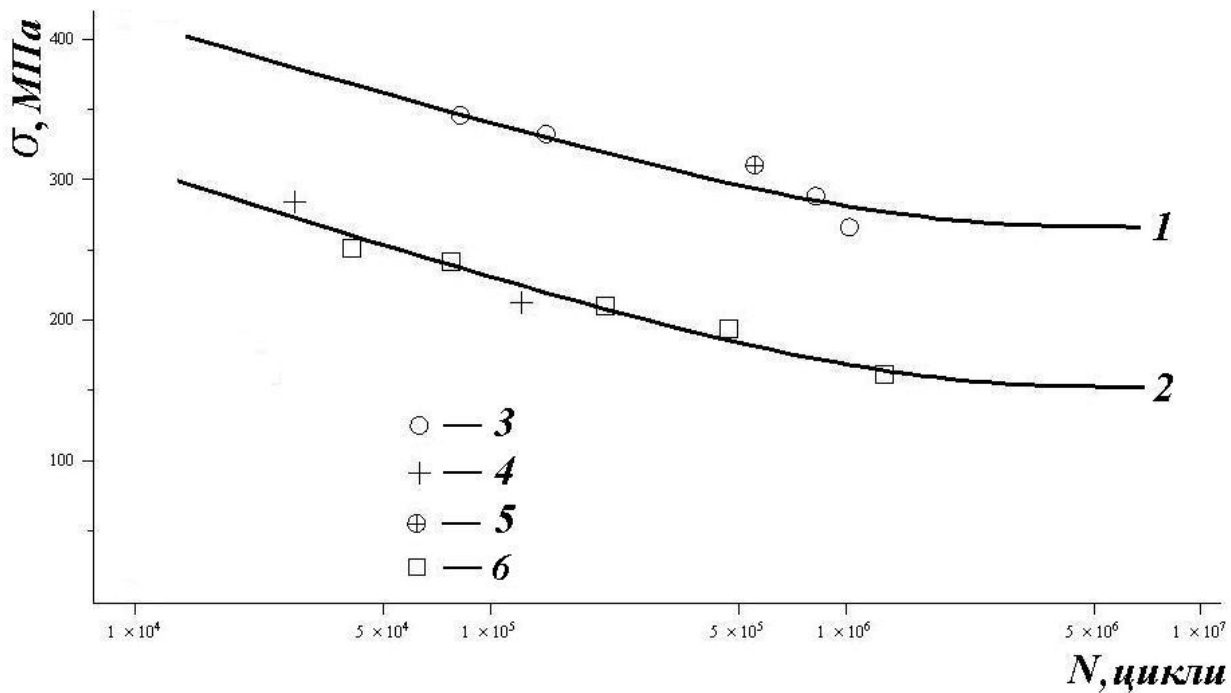
$$\sigma_0 = 266 \text{ МПа}; V_0 = 35 \text{ МПа};$$

$$Q = 2,93 \cdot 10^8 \text{ МПа}; N_0 = 1,1 \cdot 10^6 \text{ циклів};$$

для експлуатованої труби

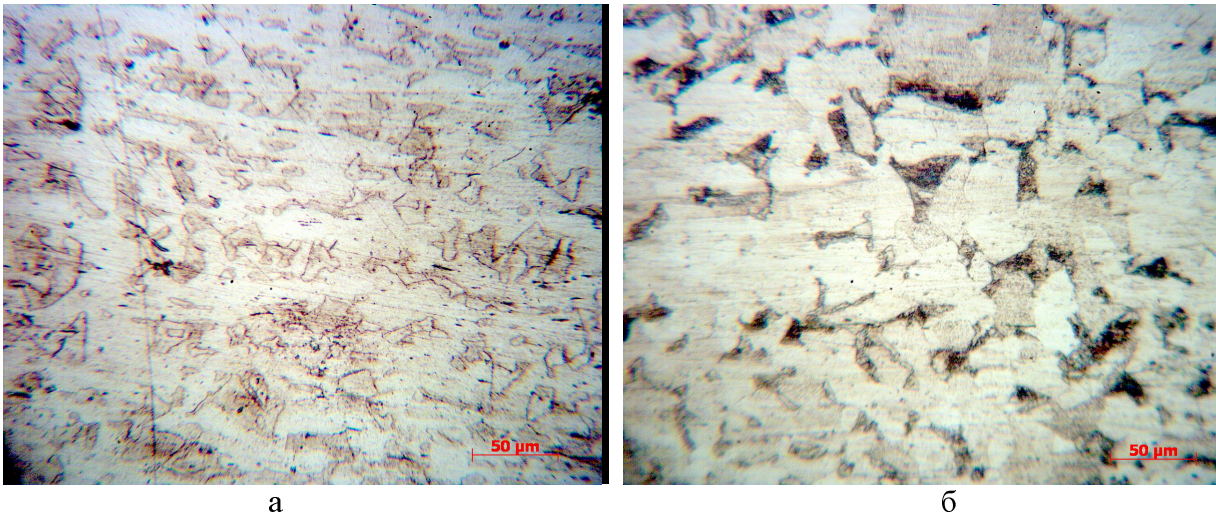
$$\sigma_0 = 152 \text{ МПа}; V_0 = 40 \text{ МПа};$$

$$Q = 1,82 \cdot 10^8 \text{ МПа}; N_0 = 1,2 \cdot 10^6 \text{ циклів}.$$



- 1 – крива втомної міцності моделей-вирізків з нової труби зі сталі 09Г2С;  
 2 – крива втомної міцності моделей-вирізків з експлуатованої труби зі сталі;  
 3 – результати досліджень моделей-вирізків з нової труби без концентратора;  
 4 – результати досліджень моделей-вирізків з нової труби з шліфованим концентратором;  
 5 – результати досліджень моделі-вирізків з нової труби з концентратором, отриманим ударом зубила;  
 6 – результати досліджень моделей-вирізків з експлуатованої труби

Рисунок 3 – Результати досліджень втомної міцності моделей-вирізків



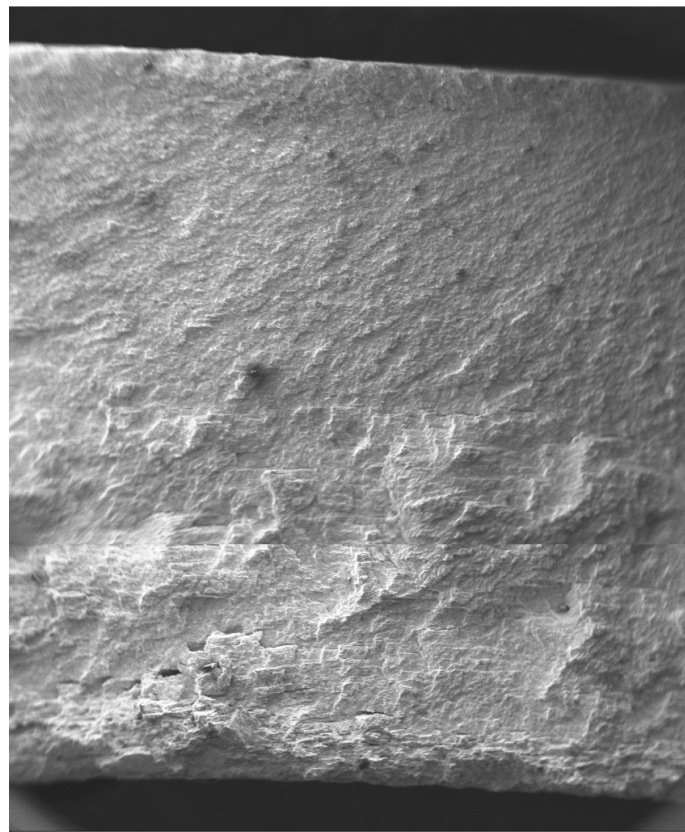
а – сталі ST-E-385.7; б – сталі 09Г2С

Рисунок 4 – Мікроструктура сталі

Дослідженнями [7] встановлено, що параметри кривих втомної міцності практично усіх низьколегованих сталей, які використовуються для виготовлення трубопроводів, дуже близькі між собою. Таким чином, результати експерименту свідчать про значне зниження опору втомі експлуатованих труб (падіння границі витривалості близько 70%). Приблизно таке ж падіння опору втомі спостережено для зразків із нової труби з наведеним концентратором.

Мікроструктурними дослідженнями (рис. 4) встановлено, що досліджувані сталі мають перліт-феритну структуру, але у сталі ST-E-385.7 вона дещо дисперсніша порівняно із сталлю 09Г2С і текстурована, що свідчить про вищу ступінь деформації металу під час виготовлення труб і позитивно позначається на їх механічних властивостях.

Фрактографічні дослідження поверхні втомного руйнування сталі ST-E-385.7



а



б

*а – загальний вигляд; б – зона доламу*

**Рисунок 5 – Злам зразка зі сталі ST-E-385.7**

проведено для зразка, який зруйнувався по досягненні 77600 циклів при віднульовому навантаженні з амплітудою 242 МПа. Злам має характерний для втоми вигляд (рис. 5, а), причому зона зародження і підростання тріщини є гладкою і сягає майже половини товщини зразка. Зона прискороного руйнування (доламу) має характерний крупно-кристалічний рельєф, в якому переважають фрагменти крихкого руйнування і розшарування металу

(рис. 5, б). Це вказує на значну текстурованість металу труби під час її виготовлення і анізотропію структури та механічних властивостей металу.

Фрактографічний аналіз зразка з концентратором напружень, одержаним шляхом шліфування, показав, що зона підростання втомною тріщини дещо відрізняється від такої на трубі із сталі ST-E-385.7 (рис. 6). У цій зоні присутня більша кількість в'язкої складової

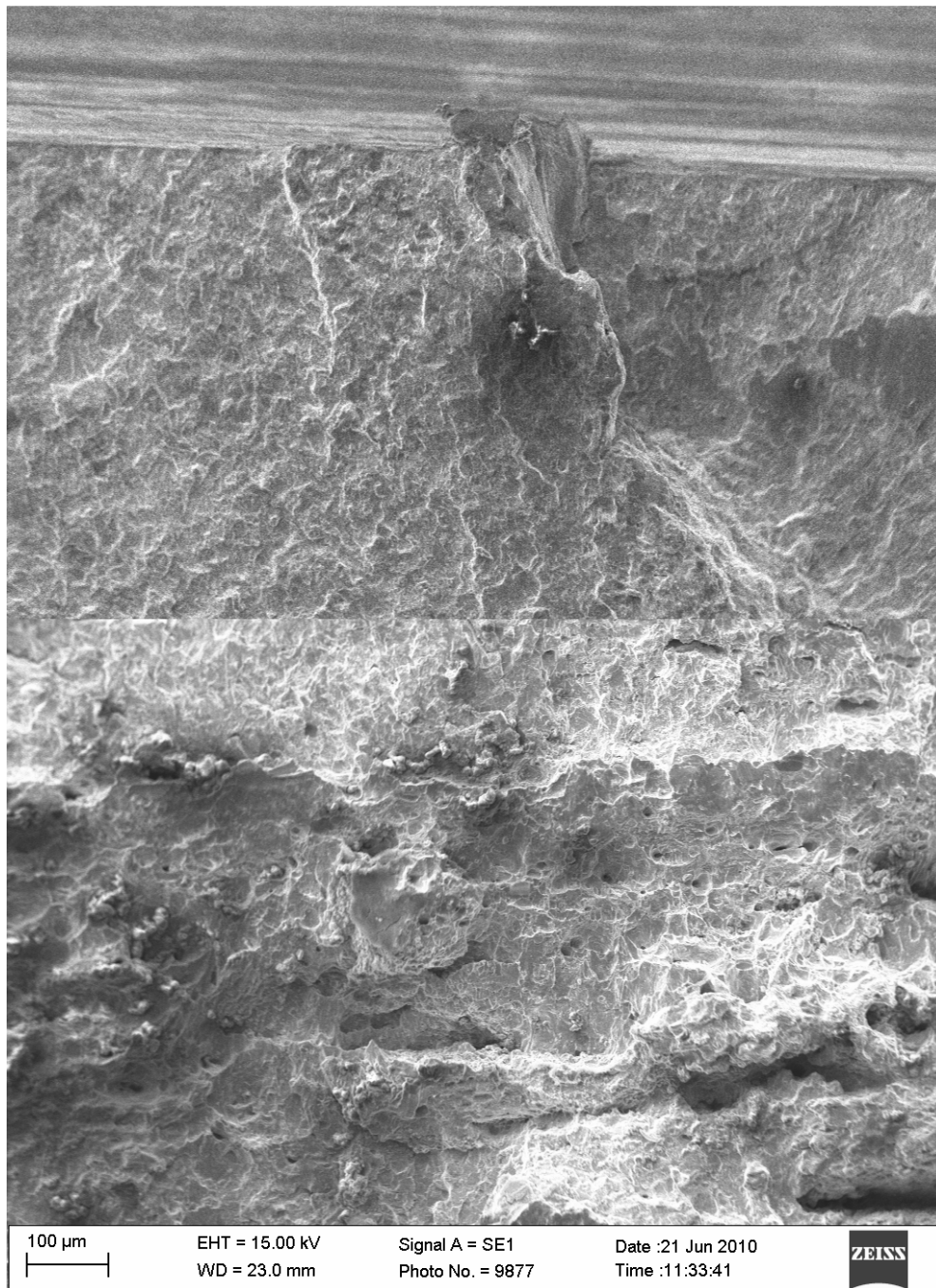


Рисунок 6 – Злам зразка зі сталі 09Г2С з шліфованим концентратором

руйнування, а в зоні доламу спостерігається поздовжні канали, близькі за формою до циліндра, що свідчить про меншу ступінь пластичної деформації металу під час виготовлення труби із сталі 09Г2С. Очевидно, що і анізотропія механічних властивостей цієї сталі буде меншою.

Що стосується впливу концентратора напружень, створеного ударом зубила, то його вплив на опір втомному руйнуванню за даних розмірів відрізняється від впливу шліфованого концентратора напружень. Під час удару зубила створюється концентратор, який повинен би вплинути на час до руйнування металу, але під час удару відбувається зміцнення металу

біля дна концентратора через його пластичне деформування, що підвищує довговічність зразка (рис. 2). Фрактографічний аналіз показав (рис. 7), що тріщина від дна концентратора зароджувалася і розвивалася не по одній рівній площині, як це мало місце у випадку, описаному вище.

Фактична поверхня руйнування в даному випадку є значно більшою, тобто енергія, що припадає на одиницю поверхні, є меншою. Цим, імовірно, і можна пояснити те, що зразок, надрубаний зубилом, має вищу довговічність. Слід зазначити, що одержані результати є характерні для конкретного зразка, а із зміною

глибини концентратора, радіуса його закруглення характер впливу може бути іншим.

ріалів і міцність конструкцій; під заг. ред. В.В.Панасюка. – Львів: Фізико-механічний ін-

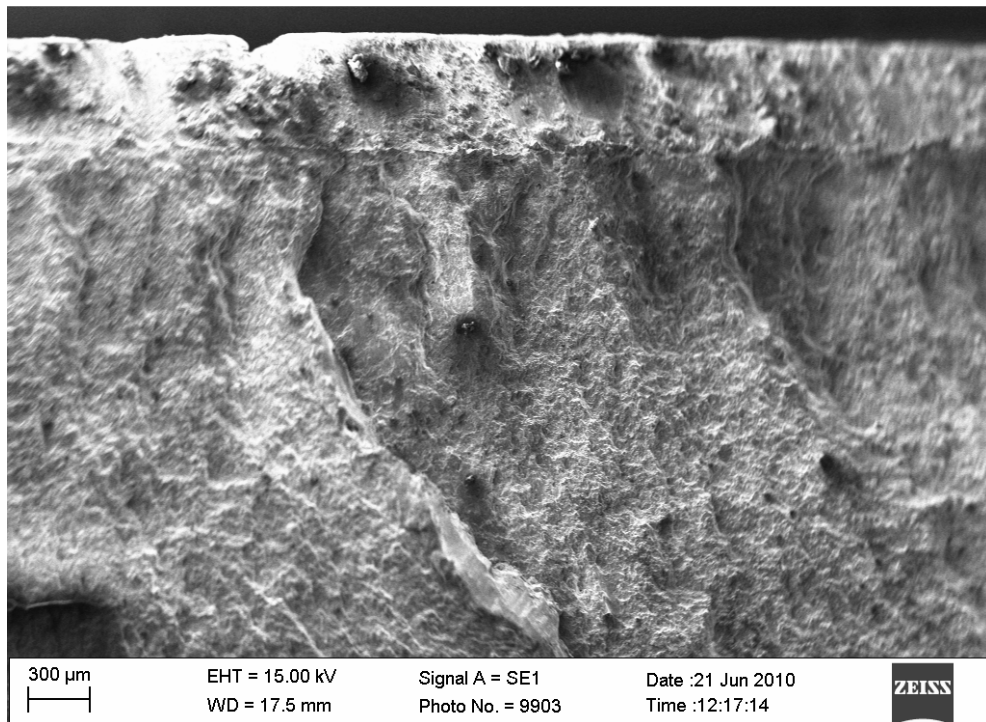


Рисунок 7 – Злам зразка зі сталі 09Г2С з концентратором, отриманим ударом зубила

### Висновки

Висока втомна міцність нової труби свідчить про досягнення достатнього рівня експлуатаційної надійності протипомпажних ліній після ремонту. Додатковим позитивним чинником є збільшення на 40% товщини стінки труби. Крім очевидного зменшення номінальних напружень та збільшення довговічності в умовах корозії також спостережено зменшення інтенсивності вібрації.

Результати експериментальних досліджень свідчать про обґрунтованість використання запропонованої труби зі сталі 09Г2С для забезпечення експлуатаційної надійності протипомпажних ліній.

### Література

1 Похмурський В.І. Зміна механічних та електрохімічних характеристик сталі газопроводів після тривалої експлуатації / В.І.Похмурський, Є.І.Крижанівський // Науковий вісник ІФНТУНГ. – 2009. – № 3. – С. 5-10.

2 Оцінювання роботоздатності сталі 17Г1С після тривалої експлуатації на газогоні / О.Т.Цирульник, М.І.Греділь, О.З.Студент, Г.М.Никифорчин // Вісник Тернопільського державного технічного університету. – 2008. – Т.13. – № 4. – С. 49-55.

3 Використання локальних моделей для оцінки залишкового ресурсу магістральних трубопроводів / В.М. Івасів, В.І. Артим, В.М. Нікітюк, О.М. Козак // Механіка руйнування мате-

ститут ім. Г.В.Карпенка НАН України, 2004. – С. 557-562.

4 Методика оцінки втомної довговічності та залишкового ресурсу великогабаритних деталей з допомогою локальних моделей / В.М.Івасів, В.І.Артим, Т.І.Смоляк, О.М.Козак, В.М.Нікітюк // Вісник Тернопільського державного технічного університету. – 2005. – № 1. – С. 19-24.

5 Пат. 18066 Україна, МПК G01N 3/00, G01M 3/00. Процес визначення залишкового ресурсу нафтогазопроводів та збільшення нормативного терміну їх експлуатації за результатами дослідження вирізаних дефектних ділянок / Івасів В.М., Говдяк Р.М., Івченко О.Г., Лопушанський А.Я., Кравець О.А., Дрогомирецький М.М., Василюк В.М., Ільницький Р.М., Артим В.І.; патентовласник ІФНТУНГ. – № u200605396; заявл. 17.05.2006; опуб. 16.10.2006, Бюл. № 10. – 6 с.

6 Почтенный Е.К. Кинетика усталости машиностроительных конструкций / Е.К.Почтенный. – Мн.: УП "Арти-Фекс". – 2002. – 186 с.

7 Харионовский В.В. Проблема ресурса газопроводных конструкций / В.В. Харионовский // Газовая промышленность. – 1994. – № 7. – С. 17-20.

Стаття надійшла до редакційної колегії  
10.09.10

Рекомендована до друку професором  
В.Я.Грудзом

