

Аналогічні результати отримано для більшості обстежених переходів. На окремих з них інтенсивність напружень у небезпечних перерізах перевищувала мінімальну границю текучості матеріалу труб, що свідчить про можливе утворення в місцях перенапружень пластично деформованих областей. Проте, незважаючи на тривалу експлуатацію нафтопроводів (більше 30-40 років), за відсутності значних дефектів це не могло вплинути на порушення цілісності труб на вказаних переходах.

1. Айнбиндер А.Б. Расчет магистральных и промышленных трубопроводов на прочность и устойчивость: Справ. пособие. - М.: Недра, 1991. - 287 с. 2. Білобран Б.С., Лучко Й.Й. Розрахунок однопрогонового балкового трубопроводу з застосуванням чисе-

льних методів // 36. наук. праць. ФМІ ім. Г.В. Карпенка "Діагностика, довговічність та реконструкція мостів і будівельних конструкцій". Львів: Каміньяр, - 2002. - Вип.4. - С. 12 - 20. 3. Гайдаш Н.Л., Кучера В.Р. Расчет однопролетного балочного перехода с учетом опирания на грунт // Нефтяная и газовая промышленность. - 1989. - №2. - С. 48 - 50. 4. СНиП 2.05.06-85*. Магистральные трубопроводы // Минстрой России. - М.: ГУП ЦПП, 1997. - 60 с. 5. Писаренко Г.С., Квітка О.Л., Уманський Е.С. Опір матеріалів. Київ: Вища шк., 1993. - 655 с. 6. СНиП 2.01.01.-82. Строительная климатология и геофизика // Госстрой СССР. - М.: Стойиздат, 1983. - 136 с.

УДК 539.4

ЧУТЛИВІСТЬ ЕЛЕКТРОХІМІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ ДО ЕКСПЛУАТАЦІЙНОЇ ДЕГРАДАЦІЇ ЗВАРНИХ З'ЄДНАНЬ ТРУБОПРОВОДІВ

© Петрина Д.Ю., Онищук О.О., 2005

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

Проведено дослідження чутливості електрохімічних показників до експлуатаційної деградації зварних з'єднань нафтогазопроводів. Показано, що тривала експлуатація металу шва привела до росту швидкості його корозії та схильності до водневого окрихчення. Результати вказують на перспективність використання електрохімічних досліджень для неруйнівного контролю стану металу трубопроводу в процесі його експлуатації

Останнім часом на державному рівні піднімається питання про стан техногенної безпеки в Україні. Основна увага звернена на забезпечення експлуатаційної надійності конструкцій довготривалої експлуатації, до яких відносяться нафтогазопроводи [1,2]. Більшість магистральних трубопроводів в Україні експлуатуються уже тривалий час і немало з них відпрацювали амортизаційний термін. У зв'язку з цим актуально всебічно обстежити їх та окреслити можливості подальшого використання. Основною причиною аварій та відмов на трубопроводному транспорті є механічні пошкодження та корозія [3]. Тому в останні роки значна увага дослідників спрямована на визначення фактичних фізико-механічних характеристик матеріалу металоконструкцій [3,4]. Це дає змогу оцінити фактичний технічний їх стан та обґрунтувати підстави до продовження терміну їх служби. Перевага надається методам неруйнівного контролю, як найбільш економічним і технічно доцільним у даному випадку.

Слід відзначити, що найбільш потенційними причинами утворення тріщин у магистральних трубопроводах є переважно технологічні дефекти зварювання, з якими пов'язано до 70-80% усіх відмов [5].

Для контролю якості зварного шва після зварювання та його стану в процесі експлуатації використовують ультразвукову та кольорову дефектоскопію, які, даючи характеристику дефектності шва, не дають змоги визначити електрохімічну гетерогенність поверхні та, відповідно, схильність конструкції до корозійного руйнування. Тому метою даної роботи є дослідження чутливості електрохімічних показників до експлуатаційної деградації зварних з'єднань трубопроводів.

Зразки зварного з'єднання виготовляли з листової сталі 20ЮЧ з V-подібною підготовкою кромки. Хімічний склад сталі (0,18%С; 0,28% Si; 0,80% Mn; 0,060%Al; 0,06%Ce; 0,025%S; 0,025%P; 0,05%Mo) відповідав ГОСТ 1050-74, ТУ14-1-3332-

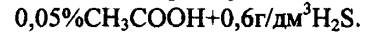
84. Механічні властивості (стан поставки), отримані при випробуваннях зразків на розтяг були такими: $\sigma_B = 450$ МПа, $\sigma_T = 260$ МПа, $\delta = 32\%$, $\psi = 58\%$. Дана сталь була вибрана тому, що вона широко застосовується для виготовлення труб, що працюють у досить агресивно-корозійних середовищах.

З'єднання отримували ручним електродуговим зварюванням електродами УОНИ-13/5505-УД1, які попередньо прогартували при 560К протягом 1 години. Сила струму становила 210А. Джерелом живлення слугував випрямляч зварний ВКС-500-1. Хімічний аналіз показав такий склад металу шва: 0,11%С; 0,90%Mn; 0,45%Si; 0,027%S; 0,025%P; 0,05% Ni; 0,06% Cr.

Паралельно використовували зразки з труб, які пропрацювали 32 роки. До проведення електрохімічних досліджень зразки піддавали спеціальній підготовці, яка полягала в шліфуванні та поліруванні робочої поверхні з наступним її знежиренням.

При дослідженні процесу сульфідного розтріскування електроліт повинен ініціювати цей вид руй-

нування. Результатами мікроелектрохімічних досліджень нами експериментально був підібраний такий склад сірководневого електроліту:



На рис.1 зображені графіки розподілу різниці електродних потенціалів і мікротвердості для металу зварного шва, що вже експлуатувався, та шва у вихідному стані. З представлених залежностей видно, що значення електродних потенціалів металу обох швів і зон перегріву більш від'ємні, ніж основного металу, а в зоні плавлення – позитивніші. Максимальна електрохімічна неоднорідність як зварного з'єднання у вихідному стані, так і після перебування його в експлуатації становить близько 50 мВ. Однак параметр $\Delta\phi$ для експлуатованого шва зсунутий вгору порівняно зі швом у вихідному стані. Цим підтверджуються результати роботи [6] про окрихчення сталі магістрального трубопроводу за час його роботи та підвищеній її чутливості до корозійного руйнування.

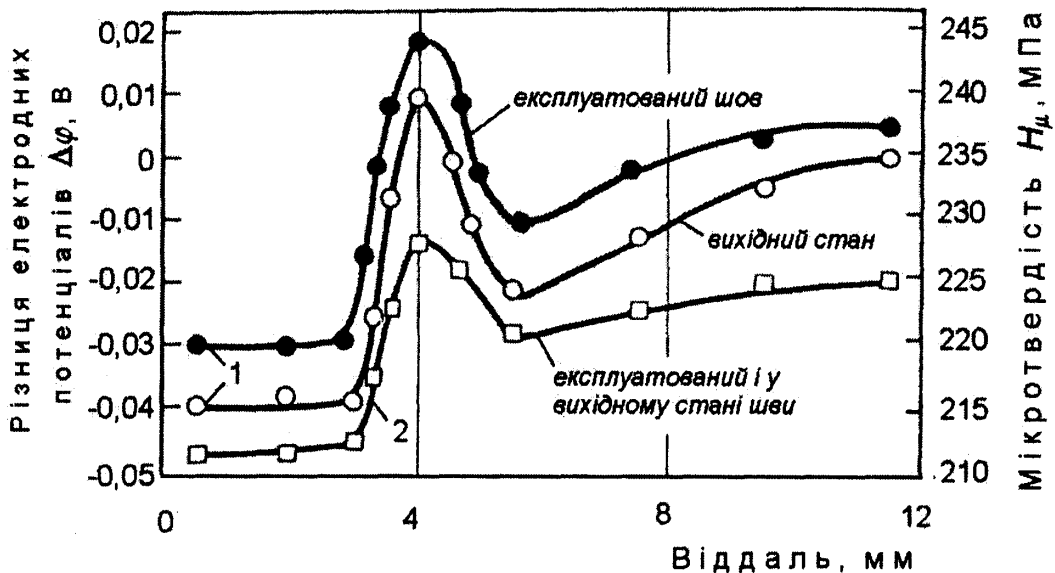


Рис.1. Розподіл різниці електродних потенціалів (1) і мікротвердості (2) для металу шва, що перебував в експлуатації, та у вихідного зварного шва

З рис. 1 видно, що електродні потенціали та мікротвердість у різних зонах зварного з'єднання суттєво залежать від структурно-хімічної неоднорідності матеріалу. При цьому розподіл електродного потенціалу має характер, аналогічний розподілу мікротвердості.

Характерним є те, що, незважаючи на виявлене електрохімічним методом окрихчення трубної сталі

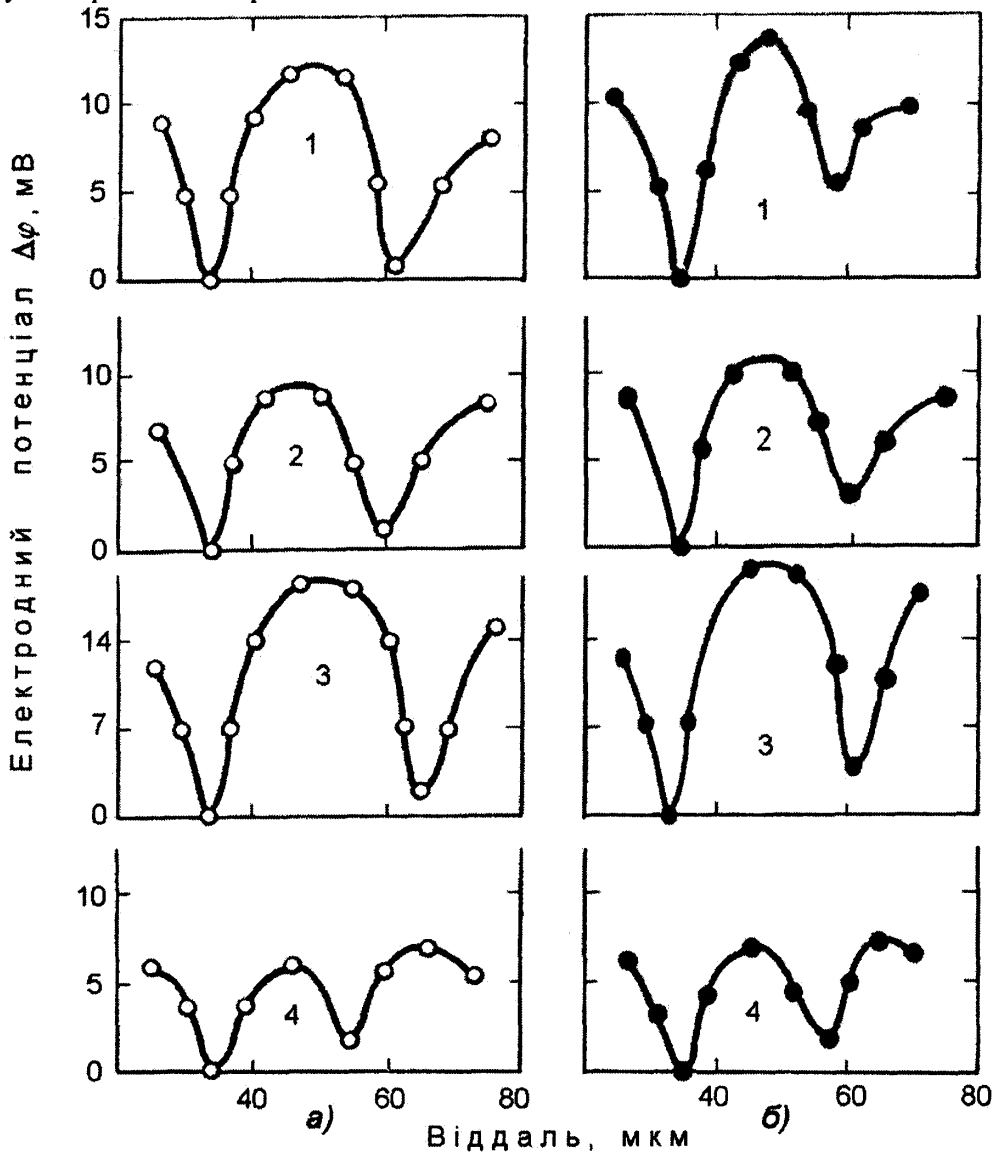
за час її роботи, мікротвердості зварних з'єднань у вихідному стані та експлуатованих практично однакові.

Таким чином, дослідження металу трубопроводів наочно свідчать, що за характеристиками мікротвердості матеріалу не можна судити про зміни його стану і, значить, прогнозувати властивості трубних сталей в процесі експлуатації. Разом з тим в роботі

[7] показано, що нагляднішими є характеристики розсіювання властивостей матеріалів, зокрема, коефіцієнта варіацій або коефіцієнта гомогенності за Вейбулом. Стосовно діагностики металу конструкцій без їхнього руйнування до найпридатніших слід віднести характеристики розсіювання твердості.

Результати мікроелектрохімічних досліджень засвідчили (рис.2), що як у вихідному стані, так і після експлуатації різні зони зварного з'єднання ма-

ють мікроелектрохімічну неоднорідність. Різниця електродних потенціалів однакових структурних складових різних ділянок поверхонь зварних швів складає до 5 мВ. Дещо меншу мікроелектрохімічну гетерогенність (2...4 мВ) мають зони сплавлення основного металу, нагрітого в процесі зварювання до температури плавлення, з металом шва, яка також має крупнокристалічну структуру.



а – вихідний стан; б – після експлуатації

1 – шов; 2- зона сплавлення; 3 – зона перегріву; 4 – основний метал

Рис.2. Розподіл мікроелектродних потенціалів у різних зонах зварного з'єднання

Зона перегріву має голчасту структуру і характеризується максимальною (близько 17 мВ) мікроелектрохімічною гетерогенністю порівняно з вихідним металом шва і основним металом і близько 20

мВ у експлуатованого шва. В основному металі сульфідні включення мають сферичну форму і він характеризується незначною мікроелектрохімічною гетерогенністю (близько 2...3 мВ). Встановлено, що

в результаті експлуатації труби відбувається значний ріст мікроелектрохімічної гетерогенності поверхні зварного з'єднання. В різних зонах вона знаходиться приблизно на однаковому рівні і складає 2...4 мВ.

Раніше нами було показано [8], що електродні потенціали та мікротвердість у різних зонах зварного з'єднання суттєво залежать від режимів термічної обробки, оскільки остання змінює структурно-хімічну неоднорідність поверхні металу. При цьому розподіл електродного потенціалу продовжує зберігати характер, аналогічний розподілу мікротвердості. Всі досліджені види термічних обробок (відпал, нормалізація і високий відпуск, високий відпуск)

приводять до зменшення як макро-, так і мікроелектрохімічної гетерогенності зварних з'єднань і навколошовних зон. При цьому найбільш суттєвий вплив справляв відпал та нормалізація з високим відпуском.

Зварні конструкції трубопроводів працюють в агресивних середовищах при одночасній дії механічних навантажень, які можуть впливати на електрохімічну неоднорідність зварних з'єднань. У зв'язку з цим вивчали вплив циклічного згину і розтягу на зміну різниці потенціалів між основним металом і зварним швом. Результати досліджень наведені на рис.3.

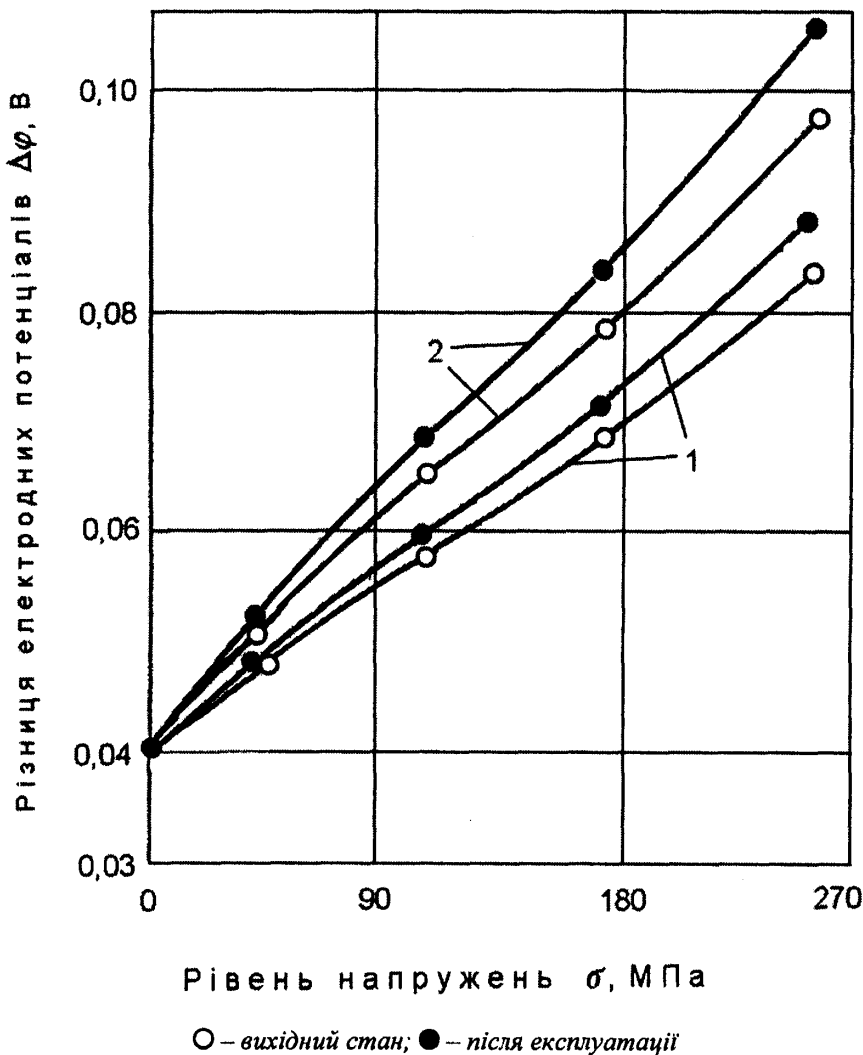


Рис.3. Зміна різниці електродних потенціалів зварного з'єднання (основний метал - шов) при розтягу (1) і циклічному згині (2)

З рис. 3 видно, що циклічний згин суттєвіше збільшує різницю електродних потенціалів, ніж розтяг зразків, як після експлуатації, так і у вихідному стані. Із збільшенням рівня напружень при розтягу

електродні потенціали всіх ділянок зварного з'єднання зсуваються у від'ємний бік внаслідок підвищення вільної енергії. При циклічному згині електродні потенціали різних ділянок зварного з'єднання

зсуваються в позитивний бік, що пов'язано з полегшенням катодної реакції в результаті відводу газоподібного водню з поверхні катодних ділянок інтенсивним перемішуванням електроліту. При цьому різниця потенціалів між різними ділянками зварного з'єднання збільшується внаслідок того, що зсув електродних потенціалів цих ділянок відбувається не однаково. Це обумовлено тим, що різні зони зварного з'єднання характеризуються своїм рівнем залишкових напружень і кількістю недосконалостей кристалічної ґратки в різних зонах неоднакова. Підвищення внаслідок цього вільної енергії буде різним, що приводить до зсуву електродного потенціалу різною мірою.

Слід відзначити, що різниця електродних потенціалів зразків зварного з'єднання, підданих експлуатації, як при циклічному згині, так і при розтягу у

сірководневому електроліті має більш інтенсивний ріст, ніж зразків у вихідному стані.

Термічна обробка приводить до зменшення інтенсивності росту різниці електродних потенціалів зварних зразків при обох видах механічних випробувань [8], що пов'язано з вирівнюванням як макро-, так і мікроелектрохімічної неоднорідності.

Для встановлення впливу експлуатаційного окрихнення трубної сталі на опірність сульфідному розтріскуванню проводили випробування при одновісному розтягу на зразках із зварним з'єднанням, розміщеним в середній частині зразка, при різних рівнях напружень на установці для мікроелектрохімічних досліджень металів у складно-напруженому стані. Корозійним середовищем слугував електроліт NACE (pH 3,5). За результатами випробувань будували криві статичної водневої втоми (рис.4).

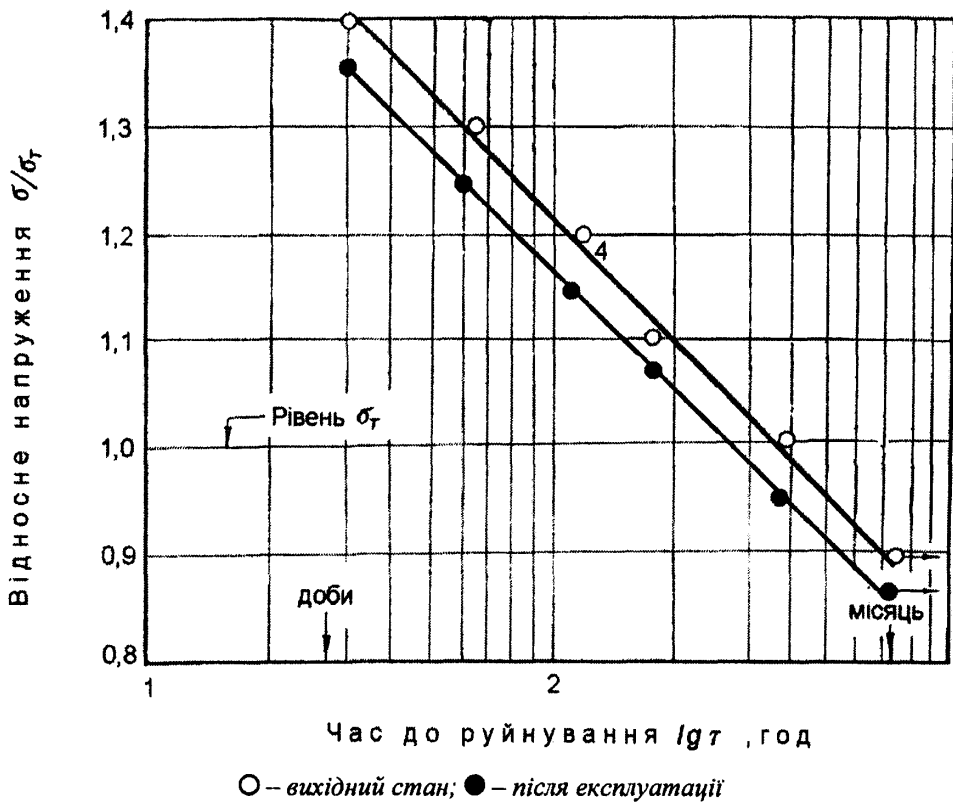


Рис.4. Залежності статичної водневої втоми зварних з'єднань (5% NaCl + CH₃COOH + +3г/дм³ H₂S)

Умовна границя статичної водневої втоми зразків у вихідному стані складала 0,89 від границі течіння основного металу, а після експлуатації спадала до 0,84.

Підвищена тривкість зразків до сульфідного розтріскування після термічних обробок [8] пов'язана з низькою твердістю і високою пластичністю металу.

Дослідження втоми на повітрі та корозійної втоми в сірководневому електроліті NACE проводились на установці для мікроелектрохімічних досліджень металів при циклічному навантаженні при поперечному згині в одній площині консольних зразків з симетричним циклом напруження 185МПа. Результати випробувань представлені в табл. 1, з якої видно, що всі зразки в середовищі руйнувалися

при меншому числі циклів навантаження порівняно з випробуваннями на повітрі. Спостерігався повсемісний спад числа циклів до руйнування експлуатованих раніше зразків порівняно з вихідним станом. Однак, слід відзначити, що вплив середовища на зразки, які вирізані з відпрацьованих труб, менший, ніж на зразки у вихідному стані.

Результати проведених досліджень дають підставу зробити висновок про високу чутливість електрохімічних показників до структурно-хімічної неоднорідності різних зон зварного з'єднання, в тому

числі таких, які виникають після експлуатаційної деградації та можуть бути не виявленими іншими методами. Це вказує на перспективність використання електрохімічних методів досліджень для неруйнівного контролю стану металу трубопроводу в процесі його експлуатації.

Надалі передбачається встановити кореляційні зв'язки між електрохімічними показниками експлуатаційної деградації зварних з'єднань трубопроводів з характеристиками розсіяння твердості.

Таблиця 1 – Результати випробувань на втому та корозійну втому зварних зразків зі сталі 20ЮЧ

Стан зварного шва	Число циклів до руйнування зразків		Коефіцієнт впливу середовища, $K_c = \frac{N_n - N_c}{N_n} \cdot 100\%$
	Повітря, N_n	NACE, N_c	
Вихідний	562900	218600	61,2
Після експлуатації	511000	216100	57,7

1. Про систему керування цілісністю магістральних трубопроводів. *Поняття ризик-аналізу.* В.В.Розгонюк, А.А.Руднін, І.В.Ориняк, С.Ф.Білик // *Розвідка та розробка нафтових та газових родовищ.*-2004.-№3(12).-С.120-125. 2. Беккер М.В., Ориняк І.В, Розгонюк В.В. *Про необхідність удосконалення нормативно-технічної документації в розрахунках на міцність нафто- і газопроводів з дефектами* // *Розвідка та розробка нафтових та газових родовищ.*-2004.-№3(12).- С.116-119. 3. *Новий підхід до визначення фізико-механічних характеристик сталей неруйнівними методами.* О.М.Карпаш, І.А.Молодецький, І.С.Кісіль, М.О.Карпаш // *Фізичні методи та засоби контролю середовищ, матеріалів та виробів: Зб. Наук праць*-2004.-Вип.9.-С.80-85. 4. *Карпаш О.М. Обґрунтування комплексного підходу до визначення фізико-механічних характеристик матеріалу металокопонування* // *Методи та прилади контролю якості.*-2004.-№12.-С.30-33. 5. *Банаше-*

*вич Ю.В. Діагностування напруженого стану магістральних нафтогазопроводів у околі стикових зварних з'єднань та корозійних пошкоджень розрахунково-експериментальним методом: Автореф. дис...к-та техн.наук: 05.15.13.Ів-Франк. нац. техн ун-т нафти і газу – Івано-Франківськ, 2003.-19с. 6. 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. 7. *Лебедєв А.А. Кінетика накопичення розсіяних пошкоджень у металах при короткочасному та тривалому навантаженнях* // *Машинознавство.*-2003.-№6(72).-С.3-10. 8. *Петрина Д.Ю., Онищук О.О. Залежність корозії зварних з'єднань трубопроводів від термічної обробки/Збірка тез II всеукраїнської науково-технічної конференції молодих вчених та спеціалістів «Зварювання та суміжні технології».*-Київ: ІЕЗ ім.Є.О.Патона НАН України.-2003.-с.33.*