

УДК 502.7:504.054-055:504.06:621.791+620.197

**ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА ТРУБОПРОВІДНОГО ТРАНСПОРТУ В УМОВАХ ДІЇ  
ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ПОЛІВ**

**В. Г. Старчак, Т. М. Поліщук**

Чернігівський національний педагогічний університет імені Т.Г. Шевченка  
вул. Гетьмана Полуботка, 53, 14013, м. Чернігів, Україна

**С. Д. Цибуля, І. А. Костенко, К. М. Іваненко**

Чернігівський державний технологічний університет  
вул. Шевченка, 95, 14027, м. Чернігів, Україна. E-mail: [stcibula@yandex.ru](mailto:stcibula@yandex.ru)

**І. Д. Пушкарьова**

Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління Мінприроди України, м. Київ  
вул. Урицького, 35, 03035, м. Київ, Україна. E-mail: [Irynet@mail.ru](mailto:Irynet@mail.ru)

Обговорюється техногенно-екологічна небезпека руйнування зварних з'єднань трубопровідного транспорту в умовах дії електромагнітних полів і його запобігання технічними засобами захисту навколишнього середовища.

**Ключові слова:** техногенно-екологічна безпека, зварні з'єднання, трубопровідний транспорт, електромагнітні поля, технологічні та організаційно-технічні методи захисту навколишнього середовища.

**ECOLOGICAL SAFETY OF PIPELINE TRANSPORTATION  
IN THE ELECTROMAGNETIC FIELDS**

**V. G. Starchak, T. N. Polishuk**

Chernigiv National Educational University named T.G. Shevchenko  
vul. Getmana Polubotka, 53, 14013, Chernigiv, Ukraine

**S. D. Tcibula, I. A. Kostenko, K. M. Ivanenko**

Chernigiv State Technological University  
vul. Shevchenko, 95, 14027, Chernigiv, Ukraine. E-mail: [stcibula@yandex.ru](mailto:stcibula@yandex.ru)

**I. D. Pushkaryova**

State Ecological Academy of Postgraduate Education and Management, Kyiv  
vul. Urickogo, 35, 03035, Kyiv, Ukraine. E-mail: [Irynet@mail.ru](mailto:Irynet@mail.ru)

The technogenous-ecological safety of the welded joints pipeline transportation fracture in condition of the electromagnetic fields action and it prevention by technical protection means of environment.

**Key words:** technogenous-ecological safety, welded joints, pipeline transportation, electromagnetic fields, technological and organizing-technical methods of environment protection.

**ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ТРУБОПРОВОДНОГО ТРАНСПОРТА  
В УСЛОВИЯХ ДЕЙСТВИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ**

**В. Г. Старчак, Т. Н. Полищук**

Черниговский национальный педагогический университет им. Т.Г. Шевченко  
ул. Гетьмана Полуботка, 53, 14013, г. Чернигов, Украина

**С. Д. Цибуля, И. А. Костенко, К. Н. Иваненко**

Черниговский государственный технологический университет  
ул. Шевченко, 95, 14027, г. Чернигов, Украина. E-mail: [stcibula@yandex.ru](mailto:stcibula@yandex.ru)

**И. Д. Пушкарёва**

Государственная экологическая академия последипломного образования и управления Минприроды Украины, г. Киев  
ул. Урицкого, 35, 03035, г. Киев, Украина. E-mail: [Irynet@mail.ru](mailto:Irynet@mail.ru)

Обсуждается техногенно-экологическая опасность разрушения сварных соединений трубопроводного транспорта в условиях действия электромагнитных полей и его предотвращение техническими средствами защиты окружающей среды.

**Ключевые слова:** техногенно-экологическая безопасность, сварные соединения, трубопроводный транспорт, электромагнитные поля, технологические и организационно-технические методы защиты окружающей среды.

**АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ.** Техногенно-екологічна небезпека на Чернігівщині пов'язана із наявністю на її території 697 потенційно небезпечних об'єктів. Площа зон можливого ураження від надзвичайних ситуацій техногенного походження становить 7,4 тис км<sup>2</sup> (23,2% загальної площі області) [1]. Це вимагає розробки та впровадження ефективних технологічних та організаційно-технічних

методів захисту комунікацій, інженерних споруд.

По території області проходить 440,1 км нафто-та продуктопроводів, які на своїй протяжності мають 48 переходів (через водні перешкоди – 7, автошляхи – 1-4 категорії – 34, залізниці - 7). З терміном понад 30 років працює 248,5 км нафтопроводів. Розгерметизація їх супроводжується забрудненням ґрунту, поверхневих і ґрунтових вод, загибеллю флори,

фауни, негативно впливає на здоров'я людини. В аварійному стані знаходяться 20% водопровідних мереж області (втрати питної води в Чернігові становлять 25,2%).

Корозійні пошкодження погіршують якість питної води, забруднюючи її важкими металами, що разом із недостатньо ефективними засобами очистки призводить до значного відхилення (на 43,7%) санітарно-хімічних показників від ГДК. 30,9% мереж водовідведення (із 911 км) знаходяться також в аварійному стані. Зношеність каналізаційних мереж по області складає 48,8...86,5% [1].

Аналіз надзвичайних ситуацій при аваріях показав значні пошкодження залізобетонних і сталевих труб за рахунок корозійно-механічних руйнувань (КМР): товщина стінки верхньої частини каналізаційних труб на ділянках до 150 м, зменшилася в 10 разів, наявні повздовжні та поперечні тріщини, є ділянки (до 2 м), де верхня частина трубопроводу повністю відсутня. Зварні з'єднання (ЗЗ) на трубопроводах особливо чутливі до КМР: водневої деградації (ВД) (крихкості), малоциклової втоми (МЦВ), корозійного розтріскування – КР [2-5]. Критичний аналіз науково-технічної літератури вказує на недостатність наукових досліджень щодо тривкості окремих зон ЗЗ (основного металу – ОМ, зони термічного впливу – ЗТВ і зварного шва – ЗШ) в агресивних середовищах і їх захисту, в т.ч. при дії ЕМП [6-8].

У зв'язку із вищезазначеним метою роботи є розробка синергічних захисних композицій (СЗК) з утилізацією відходів і модифікованих захисних покриттів (МЗП) для запобігання техногенних аварій ЗЗ і забезпечення екологічної безпеки трубопровідного транспорту в умовах дії ЕМП.

**МАТЕРІАЛ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ.** Експерименти проведені на ЗЗ трубних сталей (зварювання без охолодження – 1 і з охолодженням – 2): 09Г2ФБ, 16ГФР, 17Г1С і ін. в агресивних середовищах екологічно небезпечних підприємств (НСІ, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, з H<sub>2</sub>S і ін.). До складу СЗК на вторинній сировині (відходи виробництва: К, КУБ, МП, КВС і ін., та споживання – некондиційні, за строком вживання пестициди – НП і фармпрепарати - НФП), додавали синергісти (синергічні добавки - СД) – похідні імідазолу (Ім), бензімідазолу (ВІм) як полідентатні ліганди з високою здатністю до утворення металохелатів щодо поверхні металу. Вибір їх засновано на комп'ютерних розрахунках електронних зарядів (*q*) на атомах молекул СД і термодинамічних характеристик методом MNDO-PM 3.

Проведені експерименти на найбільш небезпечних зонах ЗЗ – ЗТВ, ЗШ (порівняно з ОМ), дали можливість прогнозувати синергічну активність СД у складі СЗК при розробці екотехнологій, з покращенням стану НС і запобіганням техногенних аварій. Розроблена комплексна оцінка технічних засобів захисту ЗЗ від агресивної дії технологічних середовищ, з визначенням ряду показників захисту від корозії (*Z*), наводнювання (*β*), малоциклової втоми (*K*, *K<sub>n</sub>*), розтріскування (*K<sub>кр</sub>*). Саме ці процеси ви-

кликають техногенні аварії і сприяють забрудненню НС [9-12].

Встановлені кореляції коефіцієнтів захисту від *q*, *I*,  $\Delta Hf$ ,  $\alpha$ :  $K$ ,  $K_{кр}$ ,  $Z=f(q_{N1})$ ,  $K_n=f(q_{N3}, \alpha, I)$ ,  $\beta=f(q_{N3}, \alpha)$ ,  $K_{кр} = f(\Delta Hf)$  і ін. ( $\alpha$  – поляризуємість, *I* – потенціал іонізації). На найбільш небезпечних зонах ЗЗ – ЗТВ одержано такі показники з СД:  $Z=84...88\%$ ,  $K=85...96\%$ ,  $K_n=82...92\%$ ,  $K_{кр}=104...125$ ,  $\beta=74...77\%$  (табл. 1). ЗЗ дуже чутливі до катодної поляризації, водню, водневої деградації, особливо ЗТВ (рис. 1, 2).

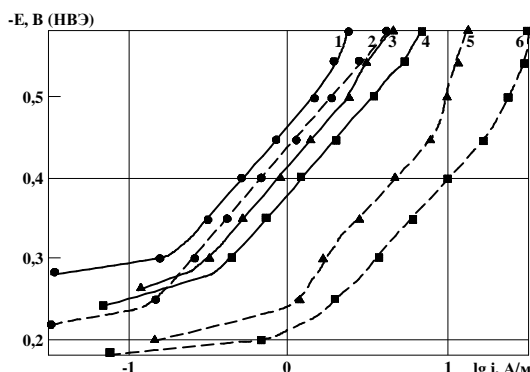


Рисунок 1 - Катодні поляризаційні криві на ЗЗ сталі 09Г2ФБ (2): 1, 3, 4 – з СД1; 2, 5, 6 – без; 1, 2 – ОМ, 3, 5 – ЗШ, 4, 6 – ЗТВ

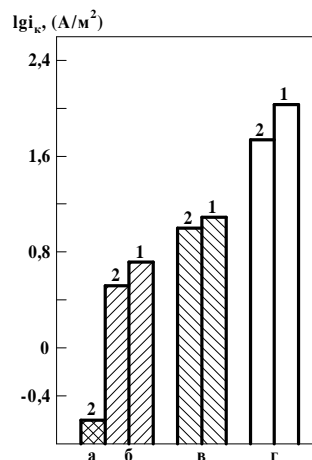


Рисунок 2 - Залежність  $\lg i_k$  на ЗТВ сталі 09Г2ФБ від агресивності середовища та режиму зварювання (1 – без, 2 – з охол.): а – 0,5М NaCl, б – 0,5М NaCl + 0,5М CH<sub>3</sub>COOH, в – 1М HCl, г – 0,5М H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>

Таблиця 1 – Ефективність захисту ЗЗ сталі 09Г2ФБ (1,2) в HCl, рН 0

	Z, %	β, %	K, %	K <sub>n</sub> , %	K <sub>кр</sub>
а					
1	91,5	73,9	97,4	86,2	115
2	96,9	77,1	99,0	89,1	129
б					
1	93,5	76,3	98,9	89,5	120
2	98,2	80,2	99,9	90,6	131
x/ а – з СЗК, б – з МЗП					

Дані табл. 1 підтверджують перспективність використання СЗК і модифікованих МЗП для захисту

ЗЗ сталі із забезпеченням техногенної безпеки зварних конструкцій трубопроводів в екологічно небезпечних виробництвах (ЕНВ). Для модифікації ЗП застосовано НФП, НП. Склад МЗП, мас. ч.: ЕД-20+КВС(1:1) – 0,9; К, МП, НФП, НП (1:1:1:1) – 0,1; СЗК: КУБ, НФП (СД (0,98:0,01:0,01)), 2...5 г/л.

Важливо розробити СЗК і МЗП для захисту ЗЗ в умовах дії ЕМП, бо відомі випадки, коли після прокладки зварних трубопроводів поблизу електрифікованих залізниць, через декілька місяців утворилися наскрізні пошкодження, з підвищенням техногенної небезпеки забруднення НС, екологічними катастрофами. Вплив електричної складової ЕМП ( $f = 100$  кГц,  $E=100$  В/м) на ЗЗ у НСІ, рН=1 показано на рис. 3, в табл. 2, 3.

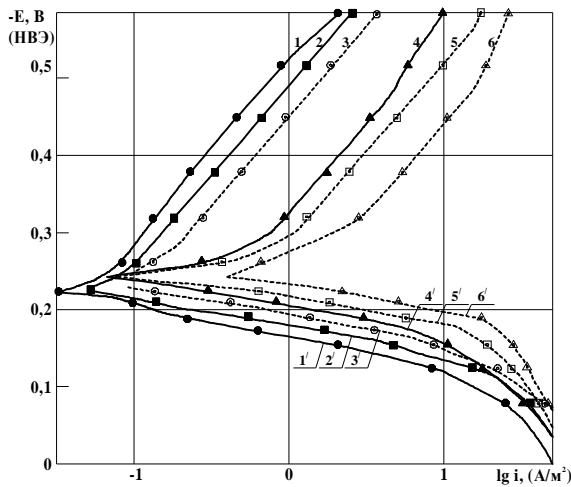


Рисунок 3 - Поляризаційні криві ЗЗ сталі 09Г2ФБ у 0,1 М НСІ в ЕП ( $f=100$  кГц,  $E=100$  В/м): 1,2,4 – з СЗК; 3,5,6 – без захисту; 1,3 – ОМ; 2,5 – ЗШ; 4,6 – ЗТВ

Таблиця 2 – Кінетичні, термодинамічні параметри корозії ЗЗ (2) сталі 09Г2ФБ в електричному полі (ЕП)

Зони ЗЗ	Густина струму, А/м <sup>2</sup>			R <sub>p</sub> , мОм·м <sup>2</sup>
	i <sub>c</sub>	i <sub>k</sub>	i <sub>a</sub>	
ОМ	0,11	1,00	2,09	134,2
ЗТВ	1,26	11,48	31,62	11,7
ЗШ	0,63	5,01	12,60	28,5

З рис. 3 видно, що ЕП проявляє катодний ефект захисту: всі i<sub>k</sub> в ЕП менше ніж без ЕП (у 1,1...1,3 рази). Якщо без ЕП i<sub>a</sub> max був в зоні ЗШ, то в ЕП i<sub>k</sub>, i<sub>a</sub>, i<sub>c</sub> були максимальні в ЗТВ.

Таблиця 3 – Ефективність захисту окремих зон ЗЗ (2) в ЕП із СЗК

Зони ЗЗ	γ <sub>c</sub>	γ <sub>k</sub>	γ <sub>a</sub>	R <sub>p</sub> , мОм·м <sup>2</sup>
ОМ	2,5	2,3	6,4	331,1
ЗТВ	3,7	3,4	5,8	45,6
ЗШ	9,1	7,5	15,1	259,9

Магнітне поле (МП),  $f = 100$  кГц,  $H = 5$  А/м різко

збільшує анодні струми i<sub>a</sub>, для ОМ, ЗШ, ЗТВ – відповідно: в 3,3; 4,5 і 8,5 разів, зменшуючи в 2 і 2,3 рази катодні струми i<sub>k</sub> на ЗШ, ЗТВ. Виникає небезпека наводнювання (рекомбінаційний механізм відновлення водню), водневої деградації, техногенних аварій (рис. 4).

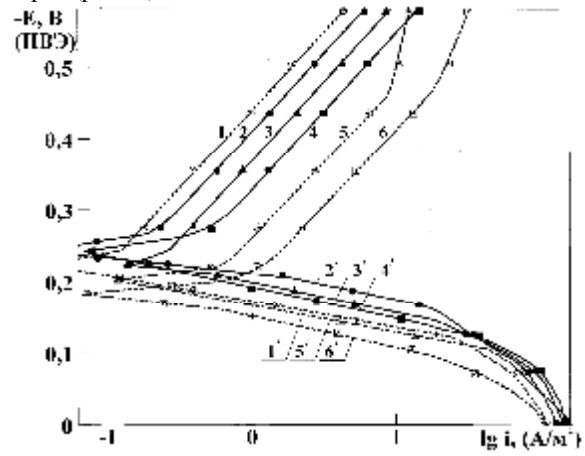


Рисунок 4 – Поляризаційні криві на ЗЗ сталі 09Г2ФБ (2) в 0,1 М НСІ в МП (штрихові – без МП), 1,2 – ОМ, 3,5 – ЗШ, 4,6 – ЗТВ

МП негативно діє на ефективність захисту окремих зон ЗЗ. Поляризаційний опір R<sub>p</sub> знижується на ОМ, ЗТВ, ЗШ порівняно з дією МП без захисту в 2,5...4 і в 2,4...14,9 разів по відношенню захисту в ЕП. Характерно, що МЗК практично не зменшують ефективність захисту ЗЗ як в ЕП, так і в МП. Вона залишається на рівні табл. 1.

**ВИСНОВКИ.** 1. Поверхнева модифікація ЗЗ сталі металохелатуючими СЗК і МЗП забезпечує зниження ризику техногенних аварій при дії ЕМП, підвищує техногенно-екологічну безпеку, експлуатаційну надійність та довговічність зварних конструкцій.

2. Розроблені СЗК, МЗП мають екологічні переваги перед відомими: належать до 4 класу небезпеки (мало небезпечні речовини) K<sub>2</sub>>10.

ЛІТЕРАТУРА

1. Доповідь про стан НПС в Чернігівській області за 2009 рік. – Чернігів: Мінприроди, ДУ ОНПС в ЧО, 2010. – 207 с.
2. Панасюк В.В. Фізико-хімічна механіка конструкційних матеріалів: здобутки та перспективи. – В кн. Сучасне матеріалознавство ХХІ ст. – К.: Наук. думка, 1998. – С. 565-589.
3. Похмурський В.І., Мелехов Р.К., Круцан Г.М., Здановський В.Г. Корозійно-механічне руйнування (КМР) зварних конструкцій. – К.: Наукова думка, 1995. – 261 с.
4. Технологічні методи забезпечення якості довокілья та техногенно-екологічної безпеки металоконструкцій екологічно небезпечних виробництв / В.Г. Старчак, І.Д. Пушкарьова, Г.М. Мачульський та ін. // Фіз.-хім. механіка матеріалів. – Спецвип. № 7. – 2008. – Т. 2. – С. 933-937.
5. Старчак В.Г., Пушкарьова І.Д., Костенко І.А. Шляхи зменшення техногенного впливу на довокілья // Екологічна безпека. – 2008. - № 2. – С. 35-39.

6. Цибуля С.Д. Розробка інгібіторів комплексної дії на вторинній сировині для захисту сталі від корозії та КМР. – Автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.17.14 / ФМІ НАНУ ім. Г.В. Карпенка. – Львів, 1999. – 19 с.

7. Костенко І.А. Протикорозійний захист сталі від матеріальних та енергетичних забруднень. – Автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.17.14 / КПІ. – Київ, 2001. – 22 с.

8. Іваненко К.М. Науково-технічне забезпечення техногенної безпеки зварних конструкцій екологічно небезпечних виробництв. – Автореф. дис. ... канд. техн. наук: 21.06.01 / ДЕІ. – Київ, 2007. – 21 с.

9. Старчак В.Г. Комплексная система контроля и оценки эффективности защиты сталей от КМР в наводороживающих средах. – Чернигов: ВСНТО, 1983. – 69 с.

10. Наукові основи підвищення екологічної безпеки металоконструкцій модифікацією їх поверхні в протикорозійному захисті / В.Г. Старчак, Н.П. Буяльська, С.Д. Цибуля та ін. // Фіз.-хім. механіка матеріалів – Спецвип. № 4. – 2004. – Т. 2. – С. 853-859.

11. Повышение надежности, долговечности, экологической безопасности конструкционных материалов наномасштабным поверхностным металлохелатированием / В.Г. Старчак, С.А. Алексеенко, К.Н. Иваненко и др. // Техника машиностроения. – 2006. – № 2. – С. 64-70.

12. Підвищення корозійної стійкості, довговічності та екологічної безпеки конструкцій-них матеріалів поверхневою модифікацією / В.Г. Старчак, С.О. Олексієнко, К.М. Іваненко, С.Д. Цибуля та ін. // Фіз.-хім. механіка матеріалів – Спецвип. № 5. – Т. 2. – С. 883-888.

#### REFERENCE

1. A report about environment in the Chernigiv region for 2009. - Chernigiv: DU ONPS in ChO, 2010. – 207 p. [in Ukrainian].

2. . Panasyuk V.V. Physical-chemical mechanics of construction materials. Achievements and perspectives. – In book Modern science of materials in the XXI century. – K.: Nauk. Dumka, 1998. – P. 565–589 [in Ukrainian].

3. Pochmurski V.I., Melechov R.K., Krutcan G.M., Zdanovski V.G. Corrosion-mechanical fractures (KMF) of welded constructions. – K.: Naukova Dumka, 1995. – 261 p. [in Ukrainian].

4. Technological methods of providing quality of environment and technogenous-ecological safety of

metalloconstructions ecological dangerous productions / V.G. Starchak, I.D. Pushkaryova, G.M. Machulski a.o. // Physico-chemical mechanics of materials. – Spec. issue № 7. - 2008. – Т. 2. – P. 933-937 [in Ukrainian].

5. Starchak V.G., Pushkaryova I.D., Kostenko I.A. The ways of decreasing of technogenous influence on the environment // Ecological safety. – 2008. – № 2. – P. 35-39 [in Ukrainian].

6. Tcibula S.D. Complex action inhibitors development on the secondary raw materials for steel protection corrosion and corrosion-mechanical fractures. - Abstract of thesis for a candidate's degree: 05.17.14 / PhMI NASU named by G.V. Karpenko. – Lviv, 1999. – 19 p. [in Ukrainian].

7. Kostenko I.A. Steel corrosion protection from material and energetic contaminations. - Abstract of thesis for a candidate's degree: 05.17.14 / KPI. – Kyiv, 2001. – 22 p. [in Ukrainian].

8. Ivanenko K.M. The scientific-technical security of technogenous safety of welding constructions for ecologic dangerous productions. - Abstract of thesis for a candidate's degree: 21.06.01 / State ecological institute. – Kiev, 2007. – 21 p. [in Ukrainian].

9. Starchak V.G. Complex system of control and estimation of efficiency protection of steels from KMF in hydrogenating mediums. - Chernigov: VSNTTO, 1983. – 69 p. [in Russian].

10. Scientific bases of ecological safety increasing of metalloconstructions by modification of their surface in corrosion protection / V.G. Starchak, N.P. Buyalska, S.D. Tcibula a.o. // Physico-chemical mechanics of materials. – Spec. issue № 4. – 2004. – Т. 2. – P. 853-859 [in Ukrainian].

11. The reliability, longevity, ecological safety increasing of construction materials by surface metallochelation / V.G. Starchak, S.A. Alexienko, K.N. Ivanenko a.o. // Technique engineering. – 2006. – № 2. – P. 64-70 [in Russian].

12. The corrosion resistance, longevity and ecological safety increasing of construction materials by surface modification / V.G. Starchak, S.O. Olexienko, K.M. Ivanenko, S.D. Tcibula a.o. // Physico-chemical mechanics of materials. – Spec. issue № 5. – Т. 2. – P. 883-888 [in Ukrainian].

Стаття надійшла 10.01.11  
Рекомендована до друку  
к.т.н., доц. Бахарєвим В.С.