

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ТА ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ ДЛЯ АНАЛІЗУ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОВЕРХНЕВИХ ШАРІВ МЕТАЛІВ.

Abstract. The thesis is devoted to the development of information technology selection and processing characteristics of the surface layers of metals in hostile environments. Models focused on processing large amounts of input data and making decisions on corrosion protection of structural elements. Improved functional structure of information technology corrosion protection using data on the energy characteristics of surface and interfacial layers and activation processes that characterize metal and aggressive environment and necessary for corrosion protection. Information technology is implemented as a distributed modular software system that results from the developed model and allows to solve the problem of corrosion diagnosis.

Актуальність.

Проблема розроблення моделей і методів автоматизації виконання функцій та завдань виробничого і організаційного управління в звичайних і багаторівневих структурах на основі створення та використання нових інформаційних технологій є актуальною. Великий внесок у розробку теоретичних і прикладних питань математичного моделювання процесів протикорозійного захисту зробили Панасюк В. В., Похмурський В. І., Джала Р. М., Поляков С. Г., Сопрунюк П.М., Остапенко В.Н., Лукович В. В., Скляров С.О. [1-6] тощо. В основу інформаційної технології закладено фізико-математичну модель [1-3] поверхневих явищ (Юзевич В. М., 1999 р.), що описує електричні, теплові, дифузійні і механічні процеси в поверхневих шарах твердих тіл, враховує при цьому особливості електричних взаємодій, поверхневі енергію γ та натяг σ_H , а також модель аналізу корозійних процесів, яка характеризує активаційні процеси деформованого металу поблизу вершини корозійної тріщини. Задача антикорозійного захисту елементів конструкцій із металів у водних розчинах електролітів є актуальною в даний час та пов'язана із станом міжфазних шарів і фізико-хімічними процесами, що в них відбуваються. Відповідні дослідження щодо підвищення ефективності методів захисту потребують впровадження нових інформаційних технологій, пов'язаних із відбором інформації про параметри стану і процесів у приповерхневих шарах поблизу границі розділу між металом і агресивним середовищем. Використовуючи термодинамічні моделі фізики поверхні зменшимо ступінь невизначеності інформаційних потоків. З урахуванням цього актуальною є розробка інформаційної технології визначення параметрів поверхневих шарів конструкційних матеріалів, які

знаходяться в агресивних середовищах з урахуванням моделювання корозійних процесів на основі підходів нерівноважної термодинаміки, фізики поверхневих явищ, теорії планування експерименту.

Постановка задачі

Головною передумовою до реалізації задачі є розробка математичних моделей систем електрохімічного захисту з використанням фундаментальних підходів до розрахунку електрохімічних полів значної складності, розробка науково обґрунтованих методик дослідження поточного стану систем протикорозійного захисту, а також використання сучасних методів ідентифікації параметрів математичних моделей. Дослідження, що проведені в даній праці, спрямовані на автоматизацію задач обробки даних корозійних обстежень та діагностування елементів машин на основі розробки математичних моделей і методів протикорозійного захисту, а також створення інформаційно-аналітичної моделі технологічного комплексу. Мета роботи – розробка інформаційної технології впорядкування потоків інформації про стан міжфазних шарів в елементах металевих конструкцій для забезпечення ефективності протикорозійного захисту. Об'єкт дослідження – інформаційна технологія процесу протикорозійного захисту елементів металевих конструкцій. Для реалізації моделі поверхневих явищ розглянуто багатокомпонентне тверде тіло, розміри якого значно більші за ефективний розмір поверхневої області, в якій зосереджено поверхневий та міжфазний натяги.

Співвідношення термодинамічної моделі поверхневого шару матеріалу (металу) подамо у вигляді [2,3]:

$$\text{Div } \hat{\sigma} + \rho \cdot \omega \cdot \vec{E} = 0, \quad (1)$$

$$\Delta \phi = \rho \cdot C_\phi \cdot \phi / \varepsilon_0, \quad (2)$$

$$\sigma_h = \int_0^h \sigma_y dx, \quad \sigma_y = \sigma_z, \quad (3)$$

$$\sigma_y + p = 0 \text{ (для } x = h) \text{ (} p = 100 \text{ кПа – атмосферний тиск),} \quad (4)$$

$$\gamma = \gamma_1 + \xi \gamma_2, \quad (5)$$

$$\frac{\partial \gamma}{\partial k} = \frac{\partial (\gamma_1 + \xi \gamma_2)}{\partial k} = 0, \quad k = \sqrt{\frac{\rho C_\phi}{\varepsilon_0}} \quad (6)$$

$$\sigma_{ij} = \left(\left(K - \frac{2}{3} G \right) e - \alpha_i K \cdot \Delta T - K(\beta \phi + \beta_c c) \right) \delta_{ij} + 2G e_{ij}, \quad (7)$$

$$\omega_v = \rho \omega = \rho C_\phi (\phi - \gamma_t \cdot \Delta T) + \beta K e - \rho \eta_c c. \quad (8)$$

$$\mu_c = d_c c + d_t \cdot \Delta T + \beta_c K \frac{e}{\rho} - \eta_c \phi, \quad \Delta T = T - T_0, \quad (9)$$

$$\phi = -\Phi_0; \quad \phi + \psi = const; \quad \sigma_x = -\frac{\varepsilon_0}{2} \cdot \left(\frac{\partial \Psi}{\partial x} \right)^2 \text{ при } x = 0. \quad (10)$$

Тут σ_n – поверхневий натяг; γ – поверхнева енергія (ПЕ); $\gamma_1 = \int_0^h w_1 dx$ – складова ПЕ, яка відповідає вільним (зв’язаним) електричним зарядам (так названа електрична складова); $\gamma_2 = \int_0^h w_2 dx$ – механічна складова ПЕ;

$$w_1 = \frac{\varepsilon_0}{2} \left(\frac{\partial \Psi}{\partial x} \right)^2; \quad w_2 = \frac{\sigma_x (\sigma_x - 4\nu\sigma_y)}{2E} + \frac{(1-\nu)\sigma_y^2}{E};$$

w_1, w_2 – густини – густини електричної та механічної складових ПЕ; h – ефективна товщина поверхневого шару; σ_{ij}, e_{ij} – компоненти тензорів напружень $\hat{\sigma}$ і деформацій \hat{e} ($i, j = 1, 2, 3$); $\sigma_{11} = \sigma_x; \sigma_{22} = \sigma_y; \mu_c, c$ – хімічний потенціал і концентрація домішки; $\xi, k, \alpha_i, \beta, \beta_c, C_\varphi, \gamma_i, \eta_c, d_c, d_i$ – фізичні характеристики матеріалу; δ_{ij} – символи Кронекера; e – перший інваріант тензора деформацій; ρ – питома густина матеріалу; ω_v, ω – просторова і масова густини зв’язаних електричних зарядів відповідно; $\varphi = \Phi - \Phi_0$ – відхилення модифікованого потенціалу Φ зв’язаних електричних зарядів від його рівноважного значення Φ_0 в об’ємі тіла далеко від поверхні; Ψ – скалярний потенціал напруженості електричного поля; $\psi = \Psi - \Psi_0$ – відхилення потенціалу Ψ від його рівноважного значення Ψ_0 ; $\vec{E}_{el} = \nabla \Psi = \text{grad} \Psi$ – напруженість електричного поля; ε_0 – електрична постійна; $\Delta T = T - T_0$ – зміна температури;

$$K = \frac{E}{3(1-2\nu)}, \quad G = \frac{E}{2(1+\nu)};$$

K, G – модулі всестороннього стиску і зсуву відповідно; E – модуль Юнга; ν – коефіцієнт Пуассона.

Співвідношення (1)–(6) складають систему рівнянь для визначення фізичних $\xi, k, \alpha_i, \beta, \beta_c, C_\varphi, \gamma_i, \eta_c, d_c, d_i$ і геометричної h характеристик поверхневого шару. Використовуючи рівняння рівноваги (1), співвідношення, яке випливає з рівнянь Максвелла (2), рівняння стану (7)–(9) і граничні умови (10), напруження (і компоненти тензора поверхневого натягу) в поверхневому шарі знаходимо, розкладаючи їх і деформації в ряди за малим параметром $b_m = \beta \Phi_0$. Вирази (3), (5) подають означення поверхневих натягу σ_h та енергії γ , (6) — умову квазірівноваги поверхневого шару (стосовно перерозподілів механічних напружень і електричних зарядів).

Розроблена інформаційна технологія спрямована на відбір даних, щоб забезпечити метод і відповідні методики розрахунку міжфазного натягу і роботи адгезії на границі між кородуючим електропровідним тілом і агресивним середовищем, від яких залежить інтенсивність корозійних процесів. Задача полягає у вибір аналітичних засобів для фізико-математичного моделювання енергетичних характеристик поверхневих шарів елементів металевих конструкцій. Відповідна концептуальна модель подана на рис. 1.

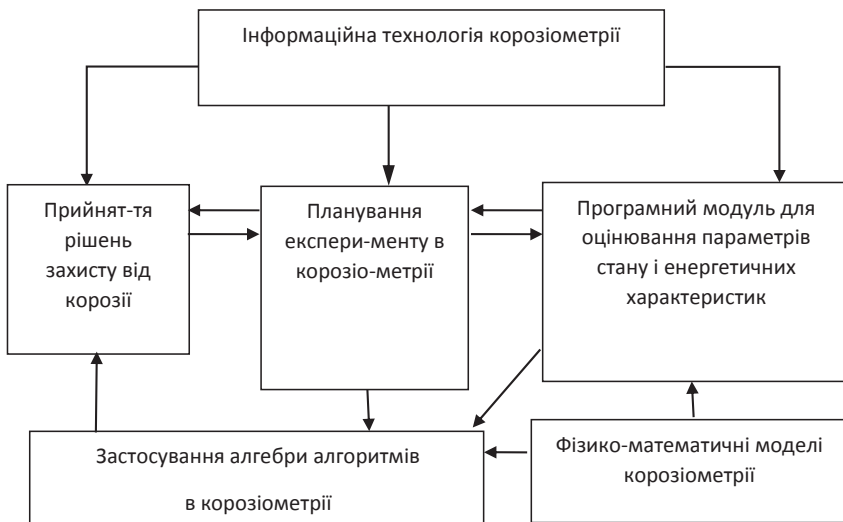


Рис. 1. Концептуальна модель для визначення енергетичних характеристик поверхневих шарів металів

Відповідні методи та алгоритми входять до складу інформаційної технології протикорозійного захисту. До складу системи входять інформаційні функції: які характеризують відбір, збереження і відображення інформації, що отримується під час проведення комплексних корозійних обстежень та діагностики корозійного стану елементів конструкцій в агресивному середовищі.

Вирішення задачі

Для реалізації задачі було розроблено інформаційно-комп'ютерну модель бази даних, в основу якої покладено модель системи. На основі моделей та методів створена інформаційно-комп'ютерна технологія (рис. 2), яка призначена для автоматизації інформаційних функцій і складатиметься з основних програмних модулів: 1) параметризація об'єктів; 2) збирання, накопичення та відображення даних вимірів; 3) діагностика стану контактуючих середовищ; 4) управління даними, розподілення і обмін інформацією між організаційними рівнями. Фізичні параметри перехідного шару на межі розділу метал – корозійне середовище визначаємо із контактної задачі на основі рівнянь, які є узагальненням співвідношень (1)–(7).

Міжфазні енергію W_m та натяг σ_m запишемо у вигляді:

$$W_m = \gamma_3 + \xi_m \gamma_4 ; \quad \gamma_4 = \int_{-H}^H w_1 dx ; \quad \gamma_5 = \int_{-H}^H w_2 dx ; \quad \sigma_m = \int_{-H}^H \sigma_y dx . \quad (11)$$



Рис. 2. Схема інформаційно-комп'ютерної технології з урахуванням корозійних процесів поблизу вершини тріщини

У співвідношеннях (11) ξ_m , $z_m = \gamma_3/W_m$ – безрозмірні характеристики міжфазного шару; $2H$ – ефективна товщина міжфазного шару на границі середовищ. Умову рівноваги міжфазного шару та наближені умови на його границях (при $x = H$ та $x = -H$) запишемо так:

$$\frac{\partial W_m}{\partial x} = \frac{\partial(\gamma_3 + \xi_m \cdot \gamma_4)}{\partial x} = 0; \quad \sigma_y^+ + p = 0 \quad (x = +H); \quad \sigma_y^- + p = 0 \quad (x = -H). \quad (12)$$

Тут індекс (+) відповідає параметрам металу, а (-) – параметрам агресивного (корозійного) середовища.

Подамо граничні умови для межі розділу метал – корозійне середовище:

$$\varphi_+ = \varphi_-; \quad \sigma_{x+} = \sigma_{x-}, \quad \sigma_{y+} = \sigma_{y-} \quad \text{при } (x = 0). \quad (13)$$

Роботу адгезії A_{ad} і енергію адгезійних зв'язків W_{ad} системи метал – корозійне середовище визначимо на основі відомих співвідношень:

$$A_{ad} = \sigma_{h+} + \sigma_{h-} - \sigma_m, \quad (14)$$

$$\gamma_{ad} = \gamma_+ + \gamma_- - \gamma_m. \quad (15)$$

Співвідношення (1)–(10), (11)–(15) створюють основу системи рівнянь фізико-математичної моделі для визначення фізичних характеристик ξ_m , $b = (b_+, b_-)$, $k = (k_+, k_-)$, товщини $2H$ і надалі параметрів поверхневого (міжфазного)

шару, від яких залежать умови корозійного розчинення металів.

Для системи «сталь – покриття тонким шаром алюмінію» з використанням комп’ютерної програми отримано дані, які можна вважати тестовим прикладом для запропонованої інформаційної технології:

$$\sigma_m = 1,455 \text{ N / m}, \quad \gamma_m = 1,0363 \text{ J / m}^2, \quad A_{ad} = 2,095 \text{ N / m}, \quad \gamma_{ad} = 2,507 \text{ J / m}^2, \\ z_\gamma = \frac{\gamma_m}{\gamma_{ad}} = 0,413; \quad z_A = \frac{\sigma_m}{A_{ad}} = 0,694; \quad \Delta\Psi_m = 2,146 \text{ V}; \quad Q_m = 0,209 \frac{\text{C}}{\text{m}^2}. \quad (16)$$

Тут Q_m – заряд обкладки подвійного електричного шару (в околі межі «метал (залізо) – покриття (алюміній)»).

На основі густини I_k корозійного струму для контролю корозійного процесу використовується критеріальне співвідношення для визначення швидкості залишкової корозії металу в дефекті ізоляційного покриття:

$$I_k = I_{kg} \cdot 10^{V_{pt}}; \quad V_{pt} = \frac{\bar{E}_{cor} - \bar{E}_p}{b_{at}}. \quad (17)$$

Тут I_{kg} – швидкість корозії металу; \bar{E}_{cor} – корозійний потенціал; \bar{E}_p – поляризаційний потенціал; b_{at} – тафелевський нахил анодної поляризаційної кривої.

Для визначення параметрів, які входять у (17), в роботі використовується методика розрахунку $\Delta\Psi$ – стрибка електричного потенціалу в подвійному електричному шарі (електричний бар’єр на границі «метал – електроліт»).

Елементи такого типу інформаційного забезпечення і відповідні методи розв’язання конкретних задач відомі, хоча не всі вони враховують елементи інших етапів [4-8]. Але така інформаційна технологія буде громіздкою і неефективною. Тому доцільно розробити для кожного етапу свою інформаційну технологію з урахуванням можливості підключення інших етапів, а потім по можливості об’єднати їх в єдине ціле.

На основі рівнянь (1)–(10), а також числових значень констант [6,7]:

$$E = 200 \text{ ГПа}, \quad v = 0,26, \quad Z_b = 0,014 \text{ нм}; \quad N = 8,5 \cdot 10^{28} \text{ 1/м}^3; \quad E_v = 4,16 \text{ eВ};$$

$$E_f = 11,6 \text{ eВ}; \quad k_f = 1,714 \cdot 10^{10} \text{ 1/м}; \quad \sigma_n = 4,18 \text{ Н/м}; \quad \gamma = 2,26 \text{ Дж/м}^2, \quad (18)$$

з допомогою ПЕОМ для температури $T = 300 \text{ К}$ для сталі 20 встановлено:

$$k_1 = 1,33 \cdot 10^{10} \text{ 1/м}, \quad \xi_1 = 15,43, \quad \beta_1 = -0,120 \text{ 1/В}; \quad \Delta\Psi_1 = 8,69 \text{ В};$$

$$k_2 = 2,04 \cdot 10^{10} \text{ 1/м}, \quad \xi_2 = 34,07, \quad \beta_2 = -0,116 \text{ 1/В};$$

$$\Delta\Psi_2 = 3,7 \text{ В}; \quad \gamma_{m1} = 0,742 \text{ Дж/м}^2. \quad (19)$$

Тут індекс "1" відповідає сталі, яка контактує з повітрям, а "2" – сталі, яка контактує з корозійним середовищем (розчином NACE); $\Delta\Psi$ – стрибок потенціалу напруженості електричного поля на границі метал – агресивне середовище; γ_{mo} – міжфазна енергія ненавантаженого зразка.

Проведено аналіз процес довготривалої корозійної міцності (циклічної тріщиностійкості) сталей у розчині NACE протягом 720 годин від початкового напруження σ_{yo} до порогового σ_{yz} . Порогове напруження σ_{yz} – граничне

напруження, за якого метал не руйнується протягом 720 годин.

Методика визначення циклічної тріщиностійкості матеріалів передбачає використання таких приладів та матеріалів: машина МО-041 для циклічних випробувань, EUS-20, шлейфовий осцилограф, блок живлення ВИП-009, катетометр В-630, призматичний зразок (сталі) з концентратором та виведеною тріщиною. Пристрій EUS-20 – універсальна машина для випробування на міцність; служить для випробування матеріалів, зокрема, для випробування матеріалів всякого роду на міцність при розтягуванні, стискуванні і згині.

На основі системи рівнянь (1)–(10) для даних [6,7] отримано конкретні числові значення змін міжфазної енергії γ_m . Зокрема, для різних марок сталей:

- сталь 20: $\sigma_{y0} = 330$ МПа; $\sigma_{yz} = 195$ МПа;
 $\gamma_m = [0,767 \text{ Дж/м}^2; 0,797 \text{ Дж/м}^2]$; $\Delta\Psi_2 = 3,650$ В;
 сталь 12 Х1МФ – $\sigma_{y0} = 510$ МПа; $\sigma_{yz} = 170$ МПа;
 $\gamma_m = [0,77 \text{ Дж/м}^2; 0,827 \text{ Дж/м}^2]$; $\Delta\Psi_2 = 3,839$ В;
 сталь 20ЮЧ – $\sigma_{y0} = 305$ МПа; $\sigma_{yz} = 195$ МПа;
 $\gamma_m = [0,774 \text{ Дж/м}^2; 0,792 \text{ Дж/м}^2]$; $\Delta\Psi_2 = 3,616$ В;
 сталь 17ГС – $\sigma_{y0} = 310$ МПа; $\sigma_{yz} = 210$ МПа;
 $\gamma_m = [0,777 \text{ Дж/м}^2; 0,793 \text{ Дж/м}^2]$; $\Delta\Psi_2 = \Delta\Psi = 3,622$ В;
 сталь 14ГБ – $\sigma_{y0} = 390$ МПа; $\sigma_{yz} = 250$ МПа;
 $\gamma_m = [0,783 \text{ Дж/м}^2; 0,807 \text{ Дж/м}^2]$; $\Delta\Psi_2 = \Delta\Psi = 3,686$ В;
 сталь 14ГБ (зварне з'єднання) – $\sigma_{y0} = 380$ МПа; $\sigma_{yz} = 210$ МПа;
 $\gamma_m = [0,777 \text{ Дж/м}^2; 0,805 \text{ Дж/м}^2]$; $\Delta\Psi_2 = \Delta\Psi = 3,70$ В;
 сталь 02 Х20Н6М3 – $\sigma_{y0} = 420$ МПа; $\sigma_{yz} = 290$ МПа;
 $\gamma_m = [0,79 \text{ Дж/м}^2; 0,812 \text{ Дж/м}^2]$; $\Delta\Psi_2 = \Delta\Psi = 3,744$ В.

На першому етапі обмежимося розглядом трьох визначальних параметрів: σ_{yz} , $(\gamma_m)_{\max}$, і $\Delta\Psi_2$. Перші два параметри характеризують міцність матеріалу і вони повинні бути максимальними, третій параметр $\Delta\Psi_2$ ($\Delta\Psi_2 = \Delta\Psi$) характеризує електричний бар'єр на границі «метал – агресивне середовище» і він також повинен бути максимальним. Частинки сірководню адсорбуються на поверхні зразка сталі, зменшують міцність поверхні (ефект Ребіндера), а також значення $\Delta\Psi_2$ і процес корозії підсилюється (стає більш інтенсивним приблизно в 3 рази як свідчать експерименти). Всі три параметри мають різну розмірність і тому їх не можна порівнювати. А порівнювати потрібно, Тому їх зробимо безрозмірними. Для цього серед кожного набору даних визначаємо максимальне значення:

$$\gamma_{mm} = 0,827 \text{ Дж/м}^2 \text{ (12 Х1МФ)}; \Delta\Psi_{2m} = \Delta\Psi_m = 3,616 \text{ В (20ЮЧ)};$$

$$\sigma_{yzm} = 290 \text{ МПа (02 Х20Н6М3)}.$$

На ці значення ділимо інші параметри і заносимо в таблицю 1.

$$\gamma_{mv} = \frac{\gamma_m}{\gamma_{mm}}; \quad \sigma_{yzv} = \frac{\sigma_{yz}}{\sigma_{yzm}}; \quad \Delta\Psi_v = \frac{\Delta\Psi}{\Delta\Psi_m}.$$

Відповідна ілюстрація подана на рис. 3.

Таблиця 1.

Відносні значення параметрів γ_{mv} , σ_{yzv} , $\Delta\Psi_v$, M_j

No	Марка сталі	γ_{mv}	σ_{yzv}	$\Delta\Psi_v$	M_1	M_2
1	20	0,963	0,672	0,951	0,8703	0,8703
2	12 Х1МФ	1,0	0,586	1,0	0,8758	0,9172
3	20ЮЧ	0,958	0,672	0,942	0,8658	0,8912
4	17ГС	0,959	0,724	0,9435	0,8823	0,9027
5	14ГБ	0,976	0,862	0,9601	0,9354	0,9437
6	14ГБ (зварне з'єднання)	0,973	0,724	0,9638	0,8946	0,9177
7	02 Х20Н6М3	0,972	1,0	0,9753	0,9847	0,9815

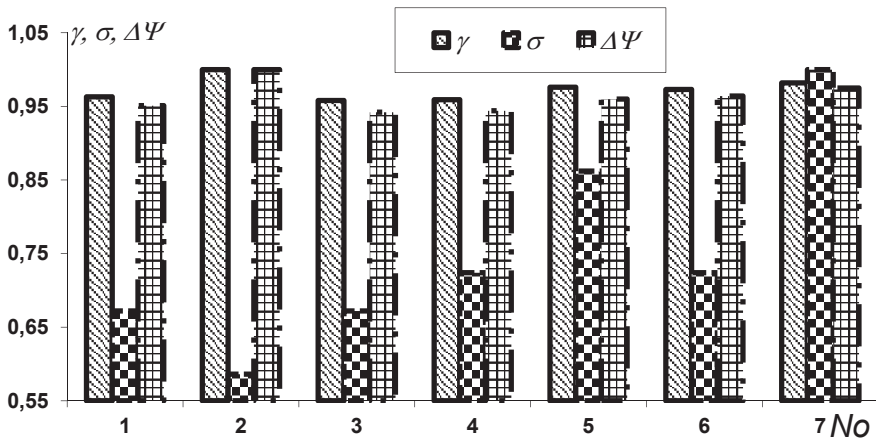


Рис. 3. Параметри $\sigma \equiv \sigma_{yzv}$, $\gamma \equiv \gamma_{mv}$ які характеризують міцність матеріалу, і зміна потенціалу $\Delta\Psi \equiv \Delta\Psi_{zv}$ для оцінювання електричного бар'єру на границі «метал – агресивне середовище» (за даними табл.1).

Формулюємо критерій оптимальності для параметрів γ_{mv} , σ_{yzv} , $\Delta\Psi_v$:

$$\alpha_1 \cdot \gamma_{mv} + \alpha_2 \cdot \sigma_{yzv} + \alpha_3 \cdot \Delta\Psi_v = M_j \Rightarrow \max,$$

де α_1 , α_2 , α_3 – коефіцієнти вагомості, які визначають експертним методом ($\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 = 1$); j – індекс відповідної комбінації факторного варіанту ($j = 1, 2, 3, \dots$).

Розрахунок M_j проводимо для різних можливих комбінацій коефіцієнтів вагомості, зокрема, в табл. 1 наведено результати розрахунку для двох варіантів:

$$M_1 \Rightarrow \alpha_1 = 0,3; \alpha_2 = 0,3; \alpha_3 = 0,4; \quad M_2 \Rightarrow \alpha_1 = 0,2; \alpha_2 = 0,2; \alpha_3 = 0,6.$$

Максимальні значення параметрів γ_{mv} , σ_{yz} , $\Delta\Psi_v$ відповідають двом маркам сталі 12 Х1МФ (№ 2) і 02 Х20Н6М3 (№ 7). Встановлюємо остаточний оптимальний варіант 02 Х20Н6М3 (№ 7). Оптимальному варіанту марки сталі відповідає максимальна міцність, мінімальна ціна і максимальний бар'єр потенціалу на границі «метал – електроліт, насичений сірководнем».

На основі системи рівнянь моделі поверхневих явищ, процес довготривалої корозійної міцності (при циклічних навантаженнях) сталей у розчині NACE протягом 720 годин від початкового напруження σ_{y0} до порогового σ_{yz} , отримано конкретні числові значення змін міжфазної енергії γ_m . Зокрема, для сталі 20, використовуючи тестовий приклад, проведено варіант практичної реалізації запропонованої інформаційної технології і отримано результати:

$$\sigma_{y0} = 330 \text{ МПа}; \sigma_{yz} = 195 \text{ МПа}; \gamma_m = [0,767 \text{ Дж/м}^2; 0,797 \text{ Дж/м}^2].$$

Для розглянутих в роботі марок сталі (сталь 20, 12 Х1МФ, 20ЮЧ, 17ГС, 14ГБ (основний метал), 14ГБ (зварне з'єднання), 02Х20Н6М3) отримано аналогічні результати і встановлено, що в процесі дії зовнішнього навантаження міжфазна енергія γ_m зростає і цьому зростанню відповідає діапазон відповідних їй приростів від 4 % до 11,8 %. Розраховані при цьому максимальні значення міжфазної енергії γ_m можна вважати критеріальними щодо оцінювання міцності елемента конструкції і адгезійного покриття.

Висновки

Запропоновано низку фізико-хімічних параметрів і співвідношень, які характеризують метал і середовище поблизу вершини корозійної тріщини. З їх допомогою є можливим оцінювання енергетичних характеристик поверхневих шарів для формних циліндрів поліграфічних машин, зокрема при електрохімічному нарощуванні і травленні металів у процесі виготовлення форм глибокого друку. На основі співвідношень фізико-математичної моделі поверхневих шарів металів розроблено інформаційну технологію для відбору та опрацювання даних щодо оцінювання енергетичних характеристик міжфазних шарів та активаційних процесів, які характеризують метал, середовище і динаміку корозійних процесів поблизу вершини тріщини в корозійному середовищі. Використання накопичених на основі експериментальних досліджень даних дозволить прогнозувати корозійну поведінку деталей поліграфічних машин в корозійних середовищах. Інформаційна технологія призначена для розроблення рекомендацій щодо підвищення ефективності функціонування системи протикорозійного захисту.

1. Сопрунок П. М. Автоматизація математичних обчислень для оцінки параметрів поверхневих шарів / П. М. Сопрунок, В. М. Юзевич, О. І. Огірко, П. В. Луговий // Відбір і обробка інформації. – 2000. – Вип. 14(90) – С. 151-156.

2. *Юзевич В. М.* Інформаційна технологія оцінювання станів об'єктів із сталі в морському середовищі із сірководнем з використанням алгебри алгоритмів / В. М. Юзевич, О. І. Огірко // Наукові записки (Українська академія друкарства). – 2012. – № 4 (41). – С. 160–172.
3. *Сопрунюк П. М.* Оцінка поверхневої енергії сталей у сірководневих середовищах / П. Сопрунюк, В. Юзевич, О. Огірко // Фіз.-хім. механіка матеріалів. Проблеми корозії та протикорозійного захисту матеріалів. – 2000. – Т. 2, № 1. – С. 726-730.
4. *Олійник Р.В.*, Інформаційна технологія обробки даних інформаційних систем із змінними структурою та параметрами. / Р.В.Олійник, О.І. Огірко // Комп'ютерні технології друкарства, УАД. Львів. 2016.1(35).С.87-97.
5. *Kucherov D.P.*, Neural Network technologies for recognition characters. Electronics and control systems. / D.P. Kucherov, I.V.Ohirkko, O.I.Ohirkko, T.I. Golenkovskaya // "National Aviation University" – № 4 (46). – 2015. – Р. 65-71.
6. *Юзевич В.М.*, Розрахунок впливу кількісного фактора на деформаційну характеристику поліуретанового зразка /В.М.Юзевич, Я.І Чехман // Поліграфія і видавнича справа. – Львів, 1987. – № 23. – С. 46-50.
7. *Юзевич В.М.*, Роль масштабного фактора при випробуванні поліуретанового зразка різної твердості /В.М.Юзевич, Я.І Чехман // Поліграфія і видавнича справа. – Львів, 1988. – № 24. – С. 47-49.
8. *Svitlana Sheludko* ,Modeling of deformation phenomena in volume label during its operation. /Svitlana Sheludko , Olga Ogirko. //Journal of Graphic Engineering and Design, Volume 8 (1), 2017.Published by the University of Novi Sad, Serbia. S.11-17.

Поступила 3.04.2017р.

УДК 621.3

М.М.Яцишин, Р.О.Піндак, А.Р.Юрич, М.С.Пасека
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу,
м. Івано-Франківськ, Україна, e-mail: yatsyshyn@gmail.com

КОНЦЕПТУАЛЬНО-ІНФОРМАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ АВАРІЙНИХ СИТУАЦІЙ ПРИ БУРІННІ НАФТОВИХ І ГАЗОВИХ СВЕРДЛОВИН

Мета: Здійснити моделювання процесу усунення флюїдопрояву при буріння свердловин на нафту і газ.

Методика: У процесі дослідження формалізовано за допомогою математичного апарату теорії категорій усунення однієї з аварійних ситуацій при буріння(флюїдопрояв). Побудовано концептуальну модель підтримки прийняття рішень при виборі методу усунення флюїдопроявів

Результати: Враховуючи попередні дослідження слабкоструктурованих процесів та об'єктів нафтогазової промисловості, та результати застосування теорії категорій для їх опису запропоновано алгоритми підтримки прийняття рішень при моделюванні усунення флюїдопроявів.

Наукова новизна: Наукова новизна полягає у математично