

УДК 620.197.3

## КОМПОЗИЦІЇ НА ОСНОВІ ЕКСТРАКТІВ З КОРИ ТА СТРУЖКИ ДУБА – ІНГІБІТОРИ КОРОЗІЇ СЕРЕДНЬОВУГЛЕЦЕВИХ СТАЛЕЙ У ВОДІ

З. В. СЛОБОДЯН, Л. А. МАГЛАТЮК, Р. Б. КУПОВИЧ, Я. М. ХАБУРСЬКИЙ

*Фізико-механічний інститут ім. Г. В. Карпенка НАН України, Львів*

Виділено з кори і стружки дуба екстракти та створено синергічні композиції на їх основі, які захищають середньовуглецеві сталі від корозії у воді на 80...95%. Найефективнішою є композиція ТИС-4, яка містить неорганічний та органічний синергісти. Електрохімічними дослідженнями встановлено, що під впливом цих інгібіторів на поверхні сталі формується хемосорбційна плівка, внаслідок чого зростає поляризаційний опір, опір переносу заряду, підвищується енергія активації корозії та гальмуються обидві електродні реакції. Розроблені композиції є інгібіторами змішаної дії та ефективні у водах середньої твердості.

**Ключові слова:** швидкість корозії, “зелені” інгібітори на основі рослинної сировини, густина струму, поляризаційний опір, константи Тафеля, енергія активації.

Україна серед європейських держав є найменш забезпеченою власними водними ресурсами, і це при тому, що витрати води на одиницю виробленої продукції перевищують аналогічні показники у розвинутих країнах у 2,5–4,2 рази [1]. Забруднення вод, в т. ч. ґрунтових, важкими металами, фенолами та іншими токсичними сполуками робить їх непридатними для використання не лише як питної води, але і як технічної. Не зважаючи на загальне зменшення кількості підприємств, промислове споживання води в Україні в останнє десятиліття зросло у 21 раз, займаючи 46% від загального водозабору, знизилася її повторно-зворотне використання, безповоротні втрати досягли майже половини всього спожитого об’єму [2].

Дієвим методом зниження витрат води є переведення систем теплообміну на закриті цикли [3]. Але при цьому зростає солеміст теплоносія, що неминує посилює корозію та солевідкладення, які часто супроводжуються ще й біокорозією та корозійно-механічним руйнуванням відповідальних вузлів теплообмінних систем [4]. В результаті не тільки погіршується якість продукції, але й внаслідок руйнування обладнання завдаються матеріальні та екологічні збитки.

Одним з найпростіших способів вирішення цих проблем є застосування технологій інгібіторного захисту. Але у зв’язку з різким загостренням екологічної ситуації в промзонах зросли вимоги і до екологічної безпечності інгібіторів. Саме тому останнім часом посилену увагу дослідників привертають так звані “green inhibitors” – сполуки та композиції, отримані з рослинної сировини [5]. Такі інгібітори не мають взагалі або мають несуттєвий негативний вплив на навколишнє середовище, є немутагенними, неканцерогенними продуктами, що швидко біодеградують [6]. Найбільше зацікавлені інгібіторами на основі рослинної сировини країни з її великими запасами [7, 8]. Розроблені інгібітори для алюмінію та сталі на основі екстрактів з листя опунції [9], гібіскусу, барбарису в соляній, фосфорній та сірчаній кислотах [10], розмарину в хлоридних розчинах [11], рицини в кислих середовищах [12]. Екстракт лавсонії як інгібітор змішаної дії захищає від корозії сталь, нікель і цинк у лужному, кислому та нейтральному середовищах [13].

---

Контактна особа: З. В. СЛОБОДЯН, e-mail: maglatyuk@ipm.lviv.ua

Основними компонентами рослинних екстрактів є поліфеноли, флавоноїди, диглюкозиди, стероїди, каротени, протеїни, заміщені нафтохінони, амінокислоти та ін. Інгібіторні властивості цих сполук, функціональні групи яких містять N, O, S, P, подвійні зв'язки, ароматичні кільця, визначаються їх здатністю адсорбуватися на поверхні металу [14]. Часто основною діючою речовиною є суміш природних танінів з широким діапазоном молекулярних мас 500...3000.

Синтетичні таніни як інгібітори корозії відомі давно [15], але їх широко не застосовували через високу ціну, специфічність захисної дії тощо. Відходи переробки місцевої деревини (кора, стружка та тирса бука, дуба, каштана, горіха) містять достатню кількість танінів [16], однак виділення останніх потребує розроблення або принаймні удосконалення відповідних методик, а застосування – вивчення механізму їх впливу на корозію та солевідкладення.

Мета роботи – розробити продуктивні методи екстракції активних складників із кори і стружки дуба, синтезувати на їх основі комбінаційні інгібітори та дослідити їх протикорозійні властивості в нейтральних середовищах.

**Матеріали та методика.** Вихідною сировиною служили стружка та кора дуба червоного європейського (*Quercus Robur*). Екстракти із них виділяли з попереднім знесмолуванням та без нього. Висушену сировину мололи у кульковому млині 30...40 min. Подрібненість кори становила 120 mesh, дубової стружки – 60 mesh. Екстракцію здійснювали різними розчинниками, в т.ч. водно-спиртовою сумішшю. Далі екстракт обробляли в два етапи: відганяли азеотропну суміш і воду та висушували концентрат за температури 70°C. Вихід кінцевого продукту залежить від способу екстракції і становить 48...56% [16, 17].

Композиції на основі отриманих екстрактів синтезували, додаючи різні співвідношення неорганічних (наприклад, високомодульні силікати) або органічних (похідні  $\alpha$ -аміноянтарної (АЯК) або L- $\alpha$ -аміно- $\beta$ -меркаптопропіонової кислот (АМПК)) сполук.

Корозійні випробування проводили на зразках зі сталі 20 у стані постачання, виготовлених у вигляді дисків. Корозивним середовищем слугувала водогінна вода м. Львова (загальна твердість 5,9 mg-ekv/l). Швидкість корозії  $K_m$  (g/(cm<sup>2</sup>·h)) визначали масометричним методом після експозиції впродовж 6, 24 та 168 h та після усунення продуктів корозії [18]. Ефективність інгібіторного захисту оцінювали, розраховуючи коефіцієнт гальмування корозійного процесу  $\gamma$  та ступінь захисту від корозії  $Z$ .

Поляризаційні дослідження здійснювали за допомогою потенціостата IP-Pro з програмним забезпеченням за триелектродною схемою. Робочий електрод – зразок із сталі 20, запресований у фторопласт із площею робочої поверхні 0,0628 cm<sup>2</sup>, електрод порівняння – насичений хлоридсрібний. Струм корозії  $I$ , константи Тафеля  $b_c$  і  $b_a$  визначали графічно-аналітичним методом, поляризаційний опір  $R_p$  розраховували за формулою

$$R_p = 2,3b_c \cdot b_a / (b_c + b_a). \quad (1)$$

Адсорбційний потенціал  $\Delta\Psi_1$  визначали з рівняння Антропова [19]:

$$\Delta\Psi_1 = \Delta E_{st} [1 - (b_c + b_a)/(b_c + b_a) \cdot b_0], \quad (2)$$

де  $\Delta E_{st}$  – зміщення стаціонарного потенціалу під впливом інгібітора;

$$b_0 = 2,3RT/F; \quad b_0 = 0,059. \quad (3)$$

Адсорбційні характеристики розроблених інгібіторів досліджували імпедансометрично на потенціостаті-аналізаторі частотного відклику Gial AC, аналізуючи часові залежності отриманих годографів.

Енергію активації  $E_{act}$  корозії, в т.ч. за присутності інгібіторів, визначали з температурних залежностей масових показників швидкостей за формулою

$$E_{\text{act}} = \frac{RT_1T_2 \cdot 2,303 \lg(K_2 / K_1)}{T_2 - T_1}, \quad (5)$$

де  $R$  – універсальна газова стала;  $T_1, T_2$  – температури корозивних середовищ;  $K_1, K_2$  – швидкості корозії за відповідних температур.

Синергічний ефект розраховували за формулою

$$S = \frac{K_1K_2}{K_3K_0}, \quad (6)$$

де  $K_1$  – швидкість корозії сталі за присутності першого компонента інгібіторної композиції;  $K_2$  – другого компонента;  $K_3$  – інгібіторної композиції загалом;  $K_0$  – швидкість корозії сталі у воді.

Якщо  $S > 1$ , то присутній синергічний ефект, а при  $S < 1$  домінує антагонізм компонентів інгібіторної композиції [20].

**Результати та обговорення.** Встановлено, що з підвищенням дисперсності вихідного матеріалу (стружки та кори дуба) вихід екстракту збільшується, який за отримання його згідно з методикою знесмолювання сягає  $\sim 50\%$ . Отриманий продукт – коричневі кристалоподібні сегрегації, розчинні у воді за температури  $40^\circ\text{C}$  та в неорганічних кислотах за н. у.

Оскільки одним з активних складників таких екстрактів є танін, то їх інгібувальні властивості порівнювали з протикорозійною ефективністю товарного таніну з молекулярною масою 1700. Характерна особливість корозії в нейтральних середовищах – поступове зниження швидкості корозії сталі зі збільшенням часу випробувань (рис. 1, крива 1). В присутності  $10^{-3}$  М таніну ця закономірність зберігається (рис. 1, крива 2). Ступінь захисту таніном сталі 20 у воді в перші 6 h випробувань невисокий і становить 39%. Збільшення часу експозиції до 168 h знижує швидкість корозії сталі 20 в інгібованому середовищі у 4 рази, ступінь захисту при цьому сягає 72%. Подібну закономірність спостерігали і в поведінці екстракту зі стружки дуба: у діапазоні досліджених концентрацій  $0,2 \dots 1,0 \text{ g/dm}^3$  ефективність протикорозійного захисту сталі 20 зростає в 1,8–2,3 рази за збільшення часу експозиції з 6 до 168 h (рис. 2). Крім того, підвищення концентрації інгібітора від  $0,2$  до  $1 \text{ g/dm}^3$  сприяє сповільненню швидкості корозії.

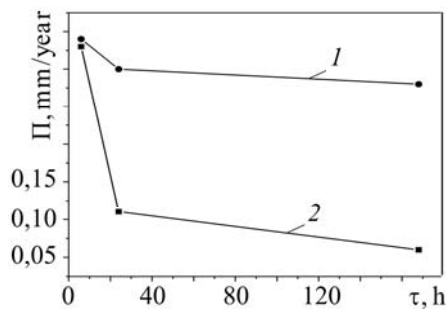


Рис. 1. Fig. 1.

Рис. 1. Залежність глибинного показника П швидкості корозії сталі 20 від часу випробувань: 1 – у водогінній воді; 2 – з додатком  $10^{-3}$  М таніну.

Fig. 1. Dependence of the depth index П of 20 steel corrosion rate on testing time: 1 – tap water; 2 – with  $10^{-3}$  M tannin addition.

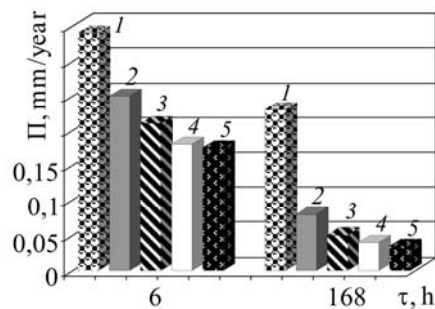


Рис. 2. Fig. 2.

Рис. 2. Залежність глибинного показника П швидкості корозії сталі 20 у водогінній воді (1) від концентрації екстракту зі стружки дуба: 2 –  $0,2 \text{ g/dm}^3$ ; 3 –  $0,4$ ; 4 –  $0,8$ ; 5 –  $1,0$ .

Fig. 2. Dependence of the depth index П of 20 steel corrosion rate in tap water (1) on oak cheep concentration: 2 –  $0.2 \text{ g/dm}^3$ ; 3 –  $0.4$ ; 4 –  $0.8$ ; 5 –  $1.0$ .

Під впливом екстракту стаціонарні потенціали сталі 20 у водогінній воді зміщуються у бік від'ємніших значень, причому підвищення концентрації екстракту з 0,4 до 0,8  $\text{g/dm}^3$  майже не змінює їх кінцевих значень. Характер поляризаційних кривих сталі 20 в інгібованих середовищах (зменшення граничних дифузійних струмів на 16...38%, збільшення значень обох констант Тафеля, зниження в 2,2–4 рази струмів корозії) вказує на змішану природу захисної дії екстракту (рис. 3, табл. 1). Спостерігали поступове зростання поляризаційного опору із підвищенням концентрації інгібітора (рис. 4). Тенденція зміщення адсорбційного потенціалу під впливом різних концентрацій екстракту є аналогічною (табл. 1). Як і за масоетричного визначення концентраційної залежності ефективності інгібітора, отримані електрохімічні результати підтверджують цю залежність.

**Таблиця 1. Електрохімічні характеристики сталі 20 у водогінній воді та за присутності інгібіторів**

Середовище	$C, \text{g/dm}^3$	$-E_{\text{corr}}, \text{mV}$	$\Delta\Psi_1, \text{mV}$	$i_{\text{corr}} \cdot 10^3, \text{mA/cm}^2$	Константи Тафеля, mV		$R_p, \Omega \cdot \text{cm}^2$
					$b_c$	$b_a$	
$\text{H}_2\text{O}$	–	483	–	4,0	50,3	53,3	591
екстракт	0,2	540	91,9	1,8	50,3	60,1	630
	0,4	645	111,8	1,2	52,8	63,0	660
	0,8	652	138,9	1,0	60,3	63,3	710

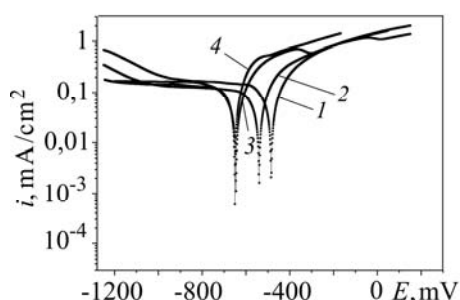


Рис. 3. Fig. 3.

Рис. 3. Поляризаційні криві сталі 20 у водогінній воді (1) та з додатком екстракту зі стружки дуба: 2 – 0,2  $\text{g/dm}^3$ ; 3 – 0,4; 4 – 0,8.

Fig. 3. Polarization curves of 20 steel in tap water (1) and with addition of oak chip extract: 2 – 0.2  $\text{g/dm}^3$ ; 3 – 0.4; 4 – 0.8.

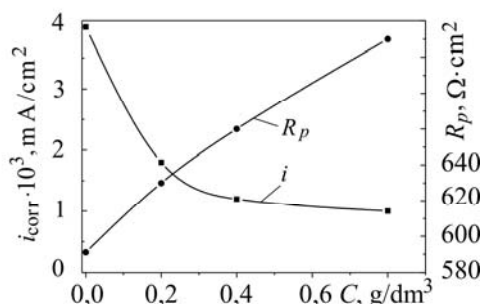


Рис. 4. Fig. 4.

Рис. 4. Залежність густини струму корозії та поляризаційного опору сталі 20 у воді від концентрації екстракту зі стружки дуба.

Fig. 4. Dependence of current density and polarization resistance of 20 steel in water on oak chip extract concentrations.

Імпедансні спектри (рис. 5), отримані на сталі 20 у водогінній воді та в присутності 0,8  $\text{g/dm}^3$  екстракту зі стружки дуба за експозиції в часовому діапазоні 0...48 h, різняться між собою. Збільшення часу експозиції у воді призводить до зменшення обох складових імпедансу  $Z'$  та  $Z''$ , тоді як в присутності екстракту спостерігаємо суттєве зростання цих параметрів. Отримані залежності в межах стандартної програми не дають змогу кількісно оцінити опір переносу заряду.

Однак їх характер вказує на формування захисних плівок на поверхні сталі, захисні властивості яких посилюються із збільшенням часу експозиції.

Отримані результати свідчать, що механізм захисної дії екстракту зі стружки дуба – хемосорбційний, з можливим утворенням фазової плівки.

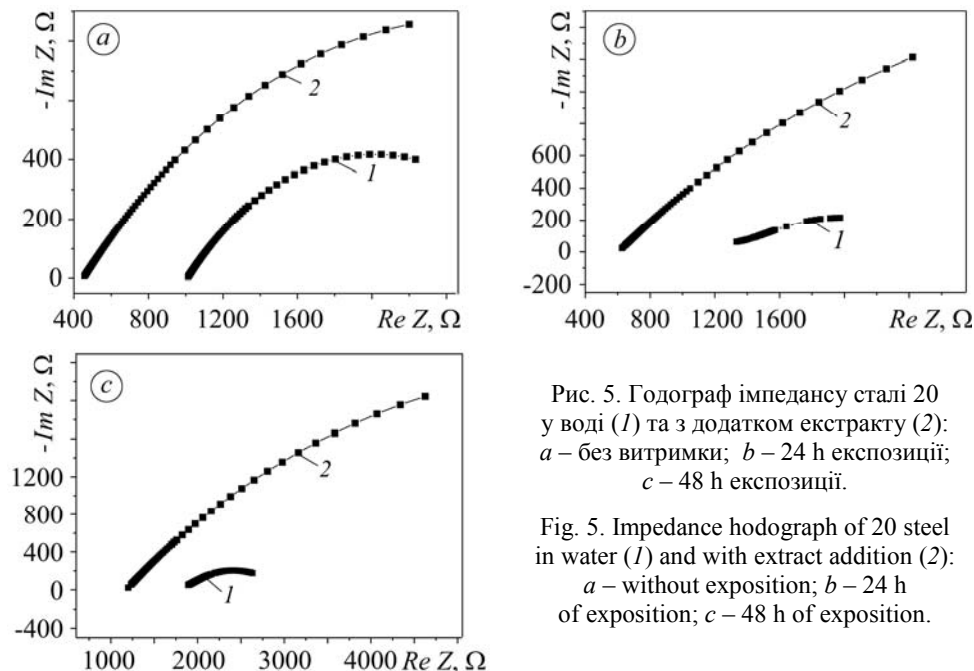


Рис. 5. Годограф імпедансу сталі 20 у воді (1) та з додатком екстракту (2): а – без витримки; б – 24 h експозиції; с – 48 h експозиції.

Fig. 5. Impedance hodograph of 20 steel in water (1) and with extract addition (2): a – without exposition; b – 24 h of exposition; c – 48 h of exposition.

**Вплив неорганічних та органічних синергістів на корозійну тривкість сталі 20.** Високомодульний силікат  $[m\text{Na}_2\text{O}\cdot n\text{SiO}_2\cdot 5\text{H}_2\text{O}]$ , вибраний як потенційний синергіст, по-різному впливає на швидкість корозії сталі у водогінній воді: в діапазоні концентрацій  $5\cdot 10^{-4}\dots 10^{-3}$  М він захищає сталь несуттєво (коефіцієнт гальмування  $\gamma = 1,1\dots 1,64$ ). Подальше збільшення концентрації значно посилює захисні властивості силікату: коефіцієнт гальмування зростає до  $13,1\dots 18,7$  (табл. 2). Стаціонарний потенціал сталі 20 порівняно з  $E_{st}$  у воді за низьких концентрацій силікату зміщується у бік від’ємніших значень, а за високих ( $10^{-2}$  М) – у бік позитивніших (табл. 3). Густина струмів корозії сталі 20 в присутності силікату різної концентрації є сумірні з густинами струмів корозії цієї сталі у воді, що, на перший погляд, суперечить результатам, отриманим внаслідок гравіметричного аналізу. Останні корелюють з граничними дифузійними струмами, які зменшуються зі збільшенням концентрації силікату (рис. 6).

**Таблиця 2. Вплив концентрації  $[m\text{Na}_2\text{O}\cdot n\text{SiO}_2\cdot 5\text{H}_2\text{O}]$  на швидкість корозії сталі 20 у водогінній воді ( $T = 22^\circ\text{C}$ ,  $\tau = 168$  h)**

Середовище	C, М	$\tau$ , h	$K_m \cdot 10^5$ , g/(cm <sup>2</sup> ·h)	Глибинний показник, mm/year	Z, %	$\gamma$
$[m\text{Na}_2\text{O}\cdot n\text{SiO}_2\cdot 5\text{H}_2\text{O}]$	$5\cdot 10^{-4}$	168	1,20	0,13	8,4	1,1
	$10^{-3}$		0,80	0,08	38	1,64
	$5\cdot 10^{-3}$		0,1	0,15	92	13,1
	$10^{-2}$		0,07	0,01	95	18,7
H <sub>2</sub> O	–	168	1,31	0,15	–	–

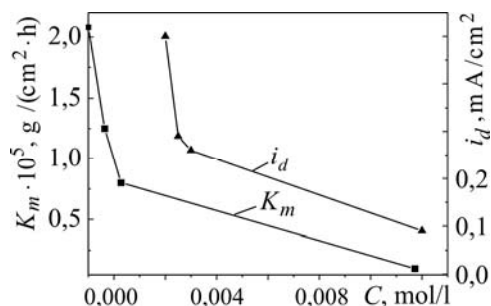
Таким чином, екологічно безпечний високомодульний силікат може бути індивідуальним інгібітором середньовуглецевих сталей у водних середовищах за високих концентрацій ( $10^{-2}$ ) або синергістом у композиціях за низьких.

**Таблиця 3. Електрохімічні характеристики сталі 20 у воді та в присутності  $[m\text{Na}_2\text{O}\cdot n\text{SiO}_2\cdot 5\text{H}_2\text{O}]$  різної концентрації**

Середовище	C, М	$E_{\text{сог}}$ , mV	$i_{\text{сог}}$ , mA/cm <sup>2</sup>	$i_d$ , mA/cm <sup>2</sup>	Константи Тафеля, mV	
					$b_c$	$b_a$
$[m\text{Na}_2\text{O}\cdot n\text{SiO}_2]\cdot 5\text{H}_2\text{O}$	$5\cdot 10^{-4}$	546	0,011	0,29	63	53
	$10^{-3}$	600	0,011	0,26	56	51
	$10^{-2}$	292	0,009	0,09	87	61
H <sub>2</sub> O	–	483	0,01	0,5	58	58

Рис. 6. Залежність гравіметричного показника швидкості корозії та граничного дифузійного струму сталі 20 від концентрації інгібітора  $[m\text{Na}_2\text{O}\cdot n\text{SiO}_2\cdot 5\text{H}_2\text{O}]$ .

Fig. 6. Dependence of corrosion rate mass index and limiting diffusion current of 20 steel on inhibitor  $[m\text{Na}_2\text{O}\cdot n\text{SiO}_2\cdot 5\text{H}_2\text{O}]$  concentration.



Похідні АЯК або АМПК за концентрації  $0,2 \text{ g}/\text{dm}^3$  та після 6 h випробувань виявляють помірні захисні властивості стосовно сталі 20 у водогінній воді (рис. 7). Ступінь захисту становить відповідно 49 та 85%.

На основі екстракту зі стружки дуба синтезували чотири композиції: ТИС-1 та ТИС-2 з додатком різних концентрацій високомодульного силікату, ТИС-3 з використанням АМПК та ТИС-4 зі сумішшю обох додатків. Результати масометричних випробувань їх захисних властивостей ( $0,8 \text{ g}/\text{dm}^3$ ) упродовж 168 h показані на рис. 8.

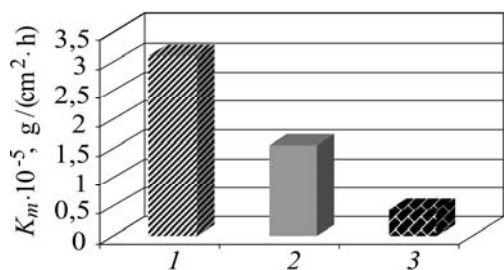


Рис. 7. Fig. 7.

Рис. 7. Швидкість корозії сталі 20 у водогінній воді (1) в присутності  $0,2 \text{ g}/\text{dm}^3$  АЯК (2) і АМПК (3).

Fig. 7. Corrosion rate of 20 steel in tap water (1) in the presence of  $\alpha$ -aminosuccinic acid (2) and L- $\alpha$ -amino- $\beta$ -mercaptopropionic acid (3) derivatives.

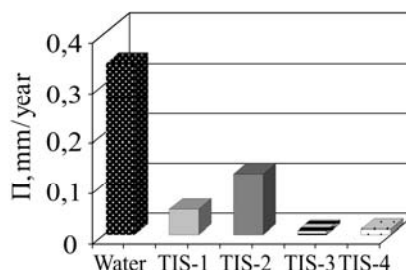


Рис. 8. Fig. 8.

Рис. 8. Швидкість корозії сталі 20 у воді та в присутності композицій ТИС.

Fig. 8. Corrosion rate of 20 steel in tap water and in the presence of TIS compositions.

**Таблиця 4. Показники ефекту синергізму  $S$  в інгібіторних композиціях ТИС ( $T = 22^\circ\text{C}$ ,  $\tau = 6$  h, концентрація  $0,8$  g/dm<sup>3</sup>)**

Середовище	$K_m \cdot 10^5$ , g/(cm <sup>2</sup> ·h)	$S$
H <sub>2</sub> O	$K_0$	3,1
екстракт	$K_1$	1,6
силікат	$K_2$	0,82
ТИС-1	$K_3$	0,13
АМПК	$K_2$	0,44
ТИС-3	$K_3$	0,07
ТИС-4	$K_3$	0,07

Механізми захисної дії композицій дещо різняться між собою. Так, стаціонарний потенціал сталі 20 в присутності композиції з неорганічним компонентом ТИС-1 зміщується в бік менш від'ємних значень порівняно із водою та екстрактом (рис. 10, крива 2), а в присутності композиції з органічним компонентом ТИС-3 або ТИС-4 (рис. 10, крива 3) – у бік від'ємніших значень. Тобто органічний компонент підсилює катодну дію екстракту. Струми корозії при цьому зменшуються в 3–3,2 рази, граничні дифузійні струми на 25...30%, а константи Тафеля зростають на 25...35 mV (рис. 10). В присутності ТИС-4 спостерігаємо і більше гальмування анодної реакції. Тобто розроблені композиції, як і екстракт зі стружки дуба, є інгібіторами змішаної дії.

Як і за екстракту зі стружки дуба, ефективність композицій зростає з підвищенням часу експозиції (рис. 9). Найефективнішою є композиція ТИС-4, захисні властивості якої майже не змінюються в дослідженому часовому діапазоні. Розраховані показники синергізму  $S$  (табл. 4) підтверджують взаємопідсилення інгібувальної дії окремих компонентів у всіх трьох композиціях ТИС за досліджених концентраційних співвідношень.

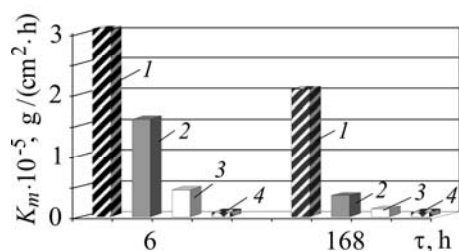


Рис. 9. Fig. 9.

Рис. 9. Швидкість корозії сталі 20 у водогінній воді (1) та з додатками екстракту зі стружки дуба (2), ТИС-1 (3), ТИС-4 (4).

Fig. 9. Corrosion rate of 20 steel in tap water (1) and with addition oak chip extract (2), TIS-1 (3), TIS-4 (4).

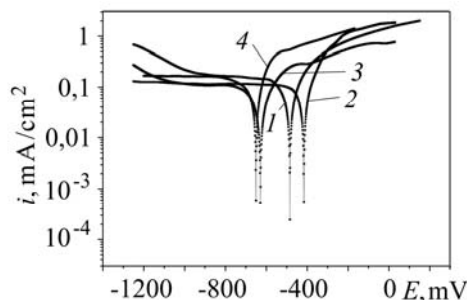


Рис. 10. Fig. 10.

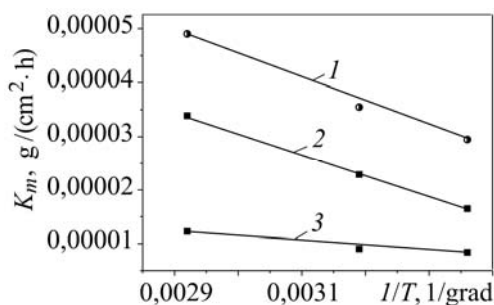
Рис. 10. Поляризаційні криві сталі 20 у водогінній воді (1) та з додатками ТИС-1 (2), ТИС-4 (3), екстракту зі стружки дуба (4).

Fig. 10. Polarization curves of 20 steel in tap water (1) and with addition TIS-1 (2), TIS-4 (3), oak chip extract (4).

Енергію активації корозії сталі 20 у воді і в присутності екстракту та інгібітора ТИС-4 розраховували з температурних залежностей (25...40°C) швидкостей корозії (рис. 11). Приймаючи, що під час випробувань компромісний потенціал умовно постійний, розрахована  $E_{act}$  становить: у воді – 3500 G/(mol·grad); в присутності  $0,8$  g/dm<sup>3</sup> екстракту – 9169 G/(mol·grad),  $0,8$  g/dm<sup>3</sup> інгібітора ТИС – 11705 G/(mol·grad). Таким чином, утворення внаслідок адсорбції інгібіторів захисних плівок підвищує енергію активації корозії, сповільнюючи цим її швидкість.

Рис. 11. Залежність швидкості корозії сталі 20 від температури у водогінній воді (1) та з додатком екстракту зі стружки дуба (2) та ТИС-4 (3).

Fig. 11. Dependence of 20 steel corrosion rate on temperature in tap water (1) and with addition of oak chip extract (2) and TIS-4 (3).



## ВИСНОВКИ

Розроблена методика синтезу та отримані екологічно чисті інгібітори на основі екстрактів зі стружки дуба. Встановлено, що ефективність захисту сталі 20 у воді екстрактом дубової стружки та інгібіторами на його основі зростає зі збільшенням часу експозиції. Встановлено, що найефективнішою є композиція ТИС-4, яка містить органічний та неорганічний синергісти. Електрохімічними дослідженнями показано, що захисна дія екстрактів та інгібіторів на їх основі полягає у формуванні на поверхні сталі хемосорбційної плівки, що забезпечує гальмування обох електродних реакцій.

**РЕЗЮМЕ.** Получены из коры и стружки дуба экстракты и синергические композиции на их основе, которые защищают среднеуглеродистые стали от коррозии в воде на 80...95%. Самой эффективной является композиция ТИС-4, содержащая неорганический и органический синергисты. Электрохимическими исследованиями установлено, что под влиянием этих ингибиторов на поверхности стали образуется хемосорбционная пленка, вследствие чего возрастает поляризационное сопротивление, сопротивление переносу заряда, увеличивается энергия активации коррозии и тормозятся обе электродные реакции. Разработанные композиции являются ингибиторами смешанного действия, эффективными в водах средней твердости.

**SUMMARY.** The extracts oak chip and bark extracts and synergetic compositions on their base that protect the medium-carbon steels against corrosion in water by 80...95% are obtained. Composition TIS-4, containing inorganic and organic synergists, is the most effective inhibitor. It is shown by electrochemical investigation that under the influence of those inhibitors chemisorption film is formed on the metal surface, which provides an increase of polarization resistance, transfer charge resistance, activation energy of corrosion and retarding of both cathode and anode electrode reactions. The developed compositions are the inhibitors of mixed action and are effective in the medium-hardness water.

1. Крисаченко В. С., Хилько М. І. Екологія. Культура. Політика: Концептуальні засади сучасного розвитку. – К.: Знання, 2002. – С. 172–173.
2. Климчин О. М. Проблеми використання та охорони водних ресурсів регіону // Статистика України. – 2001. – № 1 (12). – С. 43–47.
3. Закон України “Про загальнодержавну програму розвитку водного господарства” // Відомості Верховної Ради. – 2002. – № 25. – 172 с.
4. Слободян З. В. Ингибиторная защита стали от коррозии, коррозионной усталости и солеотложения: Автореф. дис. ... канд. тех. наук. – Львов, 1987. – 18 с.
5. The natural extract as scale and corrosion inhibitor for steel surface in brine solution / A. M. Abdel-Gaber, B. A. Abd-El-Nabej, E. Khamis, D. E. Abd-El-Khalek // Desalination. – 2011. – № 278. – P. 337–342.
6. Raja P. B. and Seturaman M. G. Natural products as corrosion inhibitors for metals in corrosive media // Materials Letters. – 2008. – № 62. – P. 113–116.
7. Green approach to corrosion inhibition of mild steel in two acidic solutions by extract of Punica granatum peel and main constituent / M. Behpour, S. M. Ghoreishi, M. Rhayatkashani, N. Soltani // Materials Chem. and Phys. – 2012. – № 131. – P. 621–633.



8. *Amitha B. E. Rani and Bharathi Bai J. Basu.* Green Inhibitors for Corrosion Protection of Metals and Alloys: An Overview // *Int. J. of Corrosion.* – 2012. – ID380217. – P. 1–15.
9. *Zucchi F. and Omar I. H.* Plant extracts as corrosion inhibitors of mild steel in HCl solution // *Surface Technol.* – 1985. – **24**, № 4. – P. 391–399.
10. *Emeka E. Oquzie.* Evaluation of the inhibitive effect of some plant extracts on the acid corrosion of mild steel // *Corros. Sci.* – 2008. – № 50. – P. 2993–2998.
11. *Aqueous extract of Rosmarinus officinalis as inhibitor of Al-Mg alloys corrosion in chloride solution / M. Kliskic, J. Radoservic, S. Gudic, V. Katalinic // J. of Applied Electrochem.* – 2000. – **30**, №7. – P. 823–830.
12. *Eko-friendly corrosion inhibitors: The inhibitive action of Delonix Regia extract for corrosion of aluminium in acidic media / O. K. Abiola, N. C. Oforka, E. E. Ebenso, N. M. Nwinuka // Anti-Corrosion Methods and Materials.* – 2007. – **54**, №4. – P. 219–224.
13. *El-Etre A. Y., Abdallah M., and Tantawy Z. E.* Corrosion inhibition of some metals using lawsonia extract // *Corros. Sci.* – 2005. – № 47. – P. 385–395.
14. *Ненищеску К. Д.* Органическая химия. – М.: Иностранная литература, 1963. – Т. 2. – 1047 с.
15. *Алцыбеева А. И., Левин С. З.* Ингибиторы коррозии металлов. – Л.: Химия, 1968. – 262 с.
16. *Слободян З., Хабурський Я., Горак Ю.* Екстракти дубової кори – “зелені” інгібітори корозії середньовуглецевих сталей у нейтральних та кислих середовищах // *Вісник ТНТУ.* – 2012. – № 4 (68). – С. 73–80.
17. *Хабурський Я. М.* Особливості створення “зелених” інгібіторів корозії шляхом переробки рослинної сировини // *Проблеми корозійно-механічного руйнування, інженерія поверхні, діагностичні системи: зб. XXIII відкр. наук.-техн. конф. молодих наук. і спец.* – Львів: ФМІ НАНУ, 2013. – С. 189–192.
18. *Фокин М. Н., Жигалова К. А.* Методы коррозионных испытаний металлов / Под ред. Я. М. Колотыркина. – М.: 1986. – 80 с.
19. *Антропов Л. И.* Теоретическая электрохимия. – М.: Высшая школа, 1969. – 510 с.
20. *Green corrosion inhibitor: inhibitive action of tannin extract of Chamaerops humilis plant for corrosion of mild steel on 0,5 M H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> / O. Benali, H. Benmehdi, O. Hasnaoui et al. // J. Mater. Environ. Sci.* – 2013. – 4 (1). – P. 127–138.

*Одержано 11.06.2014*