

**Список литературы:** 1. Kushner *H.J.* Stochastic Approximation and Recursive Algorithms and Applications / *H.J. Kushner, G.G. Yin.* – New-York: Springer-Verlag-New-York-Inc., 2003. – 498 p. 2. Мальцев *А.И.* Алгоритмы и рекурсивные функции / *А.И. Мальцев.* – М.: Наука, 1986. – 367 с. 3. Граничин *О.Н.* Введение в методы стохастической оптимизации и оценивания / *О.Н. Граничин.* – С.-Пб.: Изд-во Санкт-Петербургского ун-та, 2003. – 131 с. 4. Бобух *А.А.* Компьютерно-интегрированная система автоматизации технологических объектов управления централизованным теплоснабжением: монография / *А.А. Бобух, Д.А. Ковалёв;* под ред. *А.А. Бобуха.* – Х.: ХНУГХ им. А.Н. Бекетова, 2013. – 226 с.

**Bibliography (transliterated):** 1. Kushner *H.J.* Stochastic Approximation and Recursive Algorithms and Applications / *H.J. Kushner, G.G. Yin.* – New-York: Springer-Verlag-New-York-Inc., 2003. – 498 p. 2. *Mal'cev A.I.* Algoritmy i rekursivnye funktsii (Algorithms and recursive functions)/ *A.I. Mal'cev.* – Moscow: Nauka, 1986. – 367 p. (in Russian). 3. *Granichin O.N.* Vvedenie v metody stohasticheskoy optimizatsii i ocenivaniya (Introduction to the methods of stochastic optimization and evaluation) / *O.N. Granichin.* – St.-Peterburg: Izd-vo St.-Peterburgskogo universiteta, 2003. – 131 p. (in Russian). 4. *Bobuh A.A.* Komp'yuterno-integrirovannaja sistema avtomatizatsii tehnologicheskikh ob'ektov upravlenija centralizovannym teplosnabzheniem: monografija (Computer-integrated system of automation of technological objects of management centralized heat-supply)/ *A.A. Bobuh, D.A. Koval'jov;* pod red. *A.A. Bobuha.* – Kharkov: HNUGH im. A.N. Beketova, 2013. – 226 p. (in Russian).

*Поступила (received) 7.10.14*

УДК 621.35

**М.В. ВЕДЬ**, д-р техн. наук, проф., НТУ "ХПІ",  
**І.Ю. ЄРМОЛЕНКО**, канд. техн. наук, ст. наук. співроб., НТУ "ХПІ",  
**Г.В. КАРАКУРКЧІ**, ст. наук. співроб., НТУ "ХПІ",  
**Т.О. ІЛЛЯШЕНКО**, канд. техн. наук, ст. наук. співроб., НТУ "ХПІ"

## **ЕЛЕКТРОХІМІЧНЕ ВІДНОВЛЕННЯ ЗАЛІЗА З ЕЛЕКТРОЛІТІВ НА ОСНОВІ Fe (III)**

Досліджено обмінні реакції і рівноваги у розчинах варійованого рН та визначено співвідношення іонних форм Fe (III). Методом лінійної вольтамперометрії вивчені особливості катодного відновлення заліза з означених електролітів. Показано, що в ході катодної реакції відбувається одночасний розряд іонів  $Fe^{3+}$ ,  $FeOH^{2+}$  і  $FeO^+$ , причому співвідношення їх концентрацій визначається ступенем гідролізу заліза і рН розчину. Встановлено кінетичні закономірності катодної реакції, визначені характеристичні параметри окремих стадій і запропоновано механізм процесу відновлення  $Fe^{3+}$ .

**Ключові слова:** адсорбція, гідроліз, залізо, кінетика, катодне відновлення, механізм процесу, електроліт.

© М.В. Вєдь, І.Ю. Єрмоленко, Г.В. Каракуркчі, Т.О. Ілляшенко, 2014

**Вступ.** Специфіка експлуатації машин, вузлів і агрегатів сільськогосподарської техніки та автотранспорту полягає в їх тривалому застосуванні в умовах агресивних середовищ і коливання температур, що зумовлює передчасне зношування деталей внаслідок корозійних процесів і механічних ушкоджень. Найбільш оптимальним варіантом захисту та відновлення поверхонь деталей залишається нанесення функціональних покриттів металами, електрохімічне формування яких вважається найбільш зручним і економічно доцільним і дозволяє, до того ж, гнучко керувати складом, а, відповідно, і властивостями поверхневих шарів.

Останнім часом увагу дослідників цілком заслужено привертають покриття подвійними і потрійними сплавами заліза з молібденом і вольфрамом [1, 2], оскільки поєднання властивостей індивідуальних металів в сплаві надає поверхні деталей унікальні експлуатаційні характеристики, зокрема високу зносостійкість, твердість і корозійну стійкість. Втім слід зазначити, що різна хімічна природа і поведінка сплавотвірних компонентів у водних розчинах суттєво ускладнюють оптимізацію складу електролітів [3, 4]. Електроліти на основі заліза (II), що наразі застосовують у промисловості [5], виявляють нестабільність при експлуатації внаслідок окислення  $Fe^{2+}$  киснем повітря до  $Fe^{3+}$  з подальшим утворенням суспензії  $Fe(OH)_3$ . Для запобігання гідролізу іонів заліза (III) зазвичай застосовують електроліти, рН яких не перевищує 2 [6, 7]. Однак, такий підхід значно ускладнює співосадження заліза з вольфрамом і молібденом, оксоаніони яких у кислому середовищі існують переважно у вигляді ізополіаніонів складу  $[H_2W_{12}O_{40}]^{6-}$  і  $[Mo_7O_{24}]^{6-}$  [8, 9], що істотно знижує швидкість їх відновлення. За таких умов вміст молібдену і вольфраму в одержуваних сплавах, як правило, не перевищує 3 мас. % [10]. Для підвищення зносостійкості деталей зміцнення електролітичних покриттів проводять шляхом наступного хіміко-термічного сульфоціанування [11], що пов'язано з використанням агресивних реагентів.

Незважаючи на безліч проведених досліджень у цьому напрямку, актуальними та перспективними залишаються науково-технічні розробки для створення нових та удосконалення існуючих технологій формування електролітичних покриттів на основі заліза, які передбачають визначення особливостей катодного відновлення заліза, як основного компонента сплаву, що і зумовило мету даної роботи.

**Методика експерименту.** Дослідження кінетичних закономірностей катодного процесу проводили на електродах зі сталі 20 з робочою площею

$7,8 \cdot 10^{-2} \text{ см}^2$  у розчині з варійованою концентрацією заліза (III) сульфату  $0,002 \dots 0,02 \text{ моль/дм}^3$  на фоні  $1 \text{ моль/дм}^3 \text{ Na}_2\text{SO}_4$ . Для контролю рН робочих розчинів застосовували рН-метр рН-150 М зі скляним електродом ЭСЛ-6307. Дослідження проводили в скляній комірці за трьохелектродною схемою з використанням аргентумхлоридного електроду порівняння ЕВ-1М1. Як допоміжний використовували платиновий сітчастий електрод. Потенціометричні вимірювання проводили із застосуванням потенціостату ПП-50-1.1 з програматором ПР-8. Швидкість розгортки потенціалу варіювали в інтервалі  $2 \cdot 10^{-3} \dots 1 \cdot 10^{-1} \text{ В/с}$ . Реєстрацію вихідних параметрів проводили за спеціально розробленою програмою "Поляризація" на ЕОМ. Обробку одержаних результатів проводили за допомогою відомого алгоритму [12].

**Результати та їх обговорення.** Схильність заліза до гідролізу зумовлює досить складну поведінку системи  $\text{Fe}^{3+} - \text{H}_2\text{O}$  [13], яка істотно залежить від рН розчину і вихідної концентрації іонів  $\text{Fe}^{3+}$ . З діаграми іонних рівноваг (рис. 1) видно, що при рН 2,2...3,3 у водному розчині переважають іони  $\text{Fe}^{3+}$  і  $\text{FeOH}^{2+}$ . З розрахунку констант гідролізу встановлено, що при вихідній концентрації  $c^0(\text{Fe}^{3+}) 0,04 \text{ моль/дм}^3$  дійсний вміст  $\text{FeOH}^{2+}$  становить 40 %.

Цілком природно, що при зменшенні концентрації заліза (III) сульфату ступінь гідролізу збільшується, відповідно зростає вміст іонів  $\text{FeOH}^{2+}$  (табл. 1).

При цьому слід враховувати, що зростання у розчині вмісту  $\text{FeOH}^{2+}$  підвищує імовірність перебігу наступної реакції:

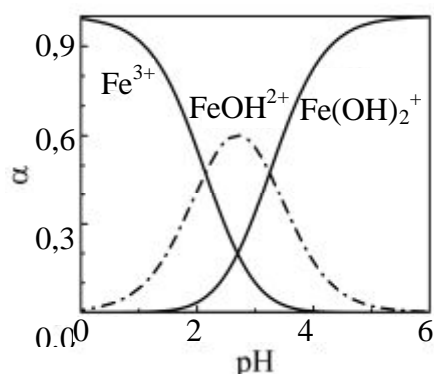
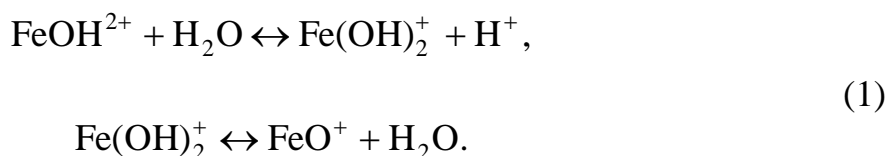


Рис. 1 – Діаграма іонних рівноваг у системі  $\text{Fe}^{3+} - \text{H}_2\text{O}$

Таким чином, можна припустити, що катодне відновлення заліза відбуватиметься одночасно з декількох іонних форм, а внесок кожної з реакцій у загальний процес буде визначатися початковою концентрацією заліза (III) сульфату та рН розчину.

Таблиця 1 – Залежність вмісту іонних форм заліза (III) і рН електроліту від початкової концентрації  $\text{Fe}^{3+}$

| Електроліт | $c^0(\text{Fe}^{3+})$ , моль/дм <sup>3</sup> | рН електроліту | Вміст у розчині, % |                    |
|------------|--|----------------|--------------------|--------------------|
|            |  |                | $\text{Fe}^{3+}$   | $\text{FeOH}^{2+}$ |
| 1          | 0,04   | 2,5            | 60                 | 40                 |
| 2          | 0,02   | 2,7            | 44                 | 56                 |
| 3          | 0,01   | 3,3            | 20                 | 80                 |

Результати вольтамперометричних досліджень цілком підтверджують робочу гіпотезу. Катодні поляризаційні залежності відновлення заліза (III) з розчинів варійованої концентрації  $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$  на фоні 1 моль/дм<sup>3</sup>  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  (рис. 2) мають класичну форму з двома хвилями, які відбивають стадійність процесу:

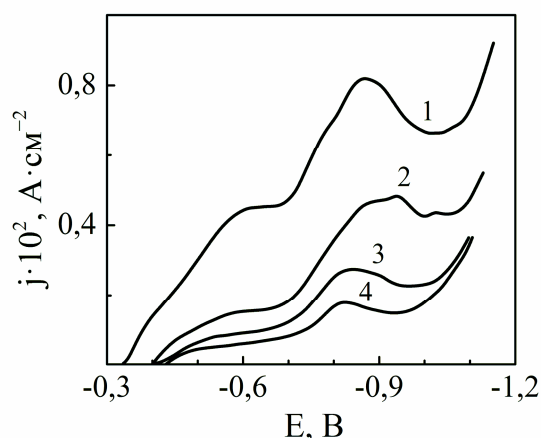
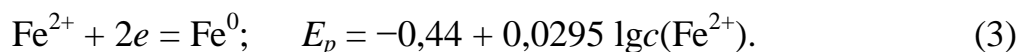
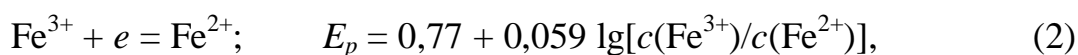


Рис. 2 – Вольтамперограми відновлення заліза з розчину  $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$  на фоні 1 моль/дм<sup>3</sup>  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ,  $c(\text{Fe}^{3+})$ , моль/дм<sup>3</sup>: 0,04 (1); 0,02 (2); 0,01 (3); 0,004 (4). Швидкість сканування  $s$ , В/с:  $2 \cdot 10^{-2}$ .

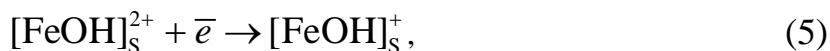
На поляризаційній залежності 1 (рис. 2) при  $c(\text{Fe}^{3+}) = 0,04$  моль/дм<sup>3</sup> в інтервалі потенціалів  $-0,34 \dots -0,60$  В спостерігається зростання густини струму до ділянки граничного струму при потенціалах  $-0,60 \dots -0,68$  В та наступне пришвидшення процесу відновлення металу з чітко вираженим піком при  $E_{\text{п}} = -0,86$  В.

Враховуючі той факт, що в електроліті переважають іони  $\text{Fe}^{3+}$ , внесок реакції (2) на першій стадії процесу буде переважаючим.

Зменшення концентрації іонів  $\text{Fe}^{3+}$  (залежності 2 – 4 на рис. 2) приводить до закономірного зсуву потенціалу початку хвилі в катодну область, що характерно для процесів з дифузійними і адсорбційними обмеженнями.

При цьому густина струму зменшується у 2,5 рази, а хвиля стає більш пологою, що також свідчить про адсорбцію реагенту і зростання внеску в за-

гальний процес наступних реакцій:



При збільшенні концентрації іонів  $\text{Fe}^{3+}$  спостерігається значне підвищення густини струму в інтервалі потенціалів  $-0,70 \dots -0,92$  В, за яких переважно реалізується процес відновлення  $\text{Fe}^{3+}$  до  $\text{Fe}^{2+}$ , а на поляризаційній залежності з'являється чітко виражений пік з несуттєвим падінням густини струму перед потенціалом виділення водню.

Слід відзначити, що на відміну від електроліту 1, в електролітах 2 – 4 густина струму піку другої хвилі вдвічі перевищує аналогічний показник першої. Порядок реакції за іонами  $\text{Fe}^{3+}$  при потенціалах  $-0,54$  В та  $-0,78$  В становить 0,55 та 0,50 відповідно, що підтверджує факт відновлення заліза з різних іонних форм.

Лінеаризація обох хвиль вольтамперограм у координатах змішаної кінетики (рис. 3) з кутим коефіцієнтом більше 59 мВ свідчить про необоротність процесів і наявність хімічної стадії [15].

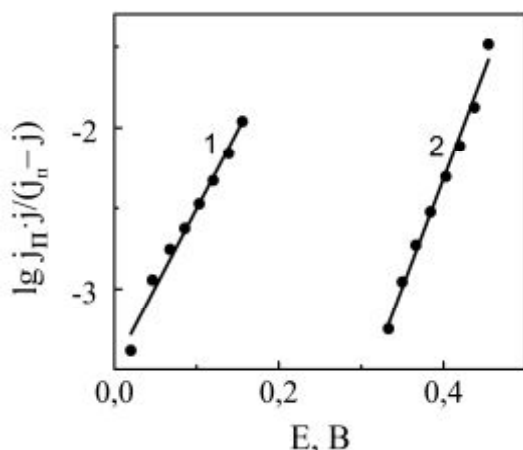


Рис. 3 – Залежності Тафеля для першої (1) і другої (2) хвиль катодної вольтамперограми в розчині  $0,02$  моль/дм<sup>3</sup>  $\text{Fe}^{3+}$ ,  $1$  моль/дм<sup>3</sup>  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ . Швидкість розгортки потенціалу  $s$ , В/с:  $2 \cdot 10^{-2}$ .

Вочевидь, інтенсифікація катодного процесу пов'язана з одночасним розрядом заліза з декількох іонних форм.

Для детального обґрунтування механізму відновлення і стадійності процесу доцільно використовувати алгоритм аналізу поляризаційних залежностей, який базується на визначенні характеристичних параметрів електрохімічної реакції [12].

Характер залежності  $j_{\text{п}}/\sqrt{s} - s$  (рис. 4, а) свідчить про необоротність катодного процесу, а зменшення  $j_{\text{п}}/\sqrt{s}$  при невеликих швидкостях сканування та залежність  $E_{\text{п}}$  от  $s$  вказує на адсорбцію реагента, що відповідає реакціям (4) і (6).

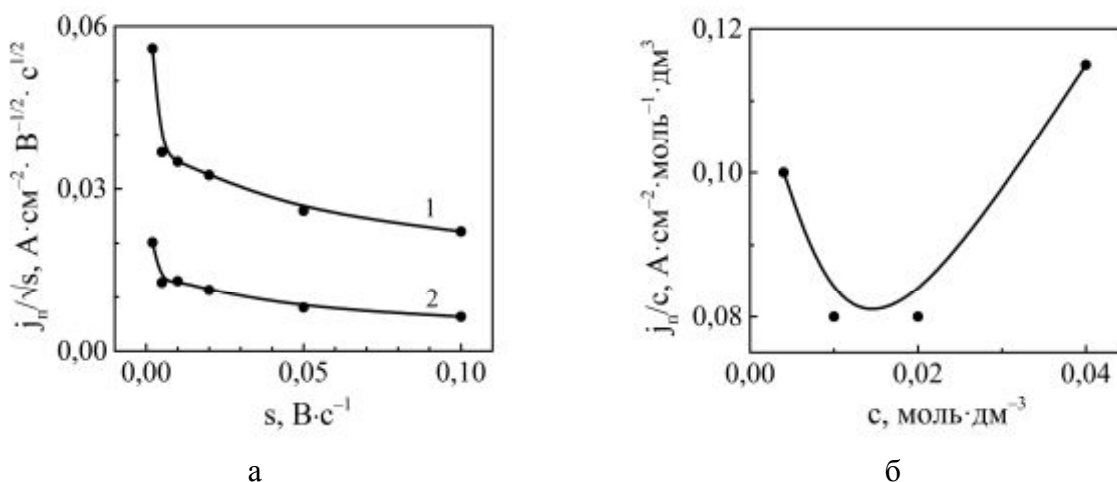


Рис. 4 – Залежність характеристичних критеріїв першої хвилі катодного відновлення заліза в розчині на фоні 1 моль/дм<sup>3</sup> Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>: а –  $j_{\text{п}} / \sqrt{s}$  від швидкості сканування,  $s$  (Fe<sup>3+</sup>), моль/дм<sup>3</sup>: 0,04 (1); 0,02 (2); б –  $j_{\text{п}} / c$  від концентрації іонів Fe<sup>3+</sup> при  $s = 2 \cdot 10^{-2}$  В/с.

Характеристичні критерії відновлення Fe<sup>3+</sup> в інтервалі потенціалів –0,34...–0,60 В (Семерано  $X_s = 0,5$  і концентраційний  $X_c = 1$ ) свідчать про гальмування реакції розряду. Зниження  $X_s$  до 0,13 при збільшенні швидкості сканування в зазначених межах потенціалів, як і характер залежності  $j_{\text{п}}/c - c$  (рис. 4, б), вказують на наступну каталітичну хімічну стадію.

Хід залежності  $E_{\text{п}} - \lg s$  відображає внесок наступної хімічної реакції, а її лінеаризація при збільшенні швидкості розгортки (0,02...0,1 В/с) свідчить про адсорбцію продуктів на поверхні електроду (рис. 5, а). Крім цього, прямопропорційна залежність  $E_{\text{п}}$  від  $\lg s$  для другої хвилі вольтамперограми (рис. 5, б) підтверджує наявність на поверхні електроду адсорбованих частинок. Водночас, сінусоїдальний характер залежності  $E_{\text{п}}$  першої хвилі від  $\lg s$  (рис. 5, а), по-перше, підтверджує каталітичний характер наступної хімічної реакції; по-друге, може вказувати на перебіг електрохімічної реакції одночасно за кількома механізмами, що цілком узгоджується з припущенням про розряд різних іонних форм заліза (III).

Отже, крім реакцій (2, 4 – 7) перший етап відновлення містить стадію:



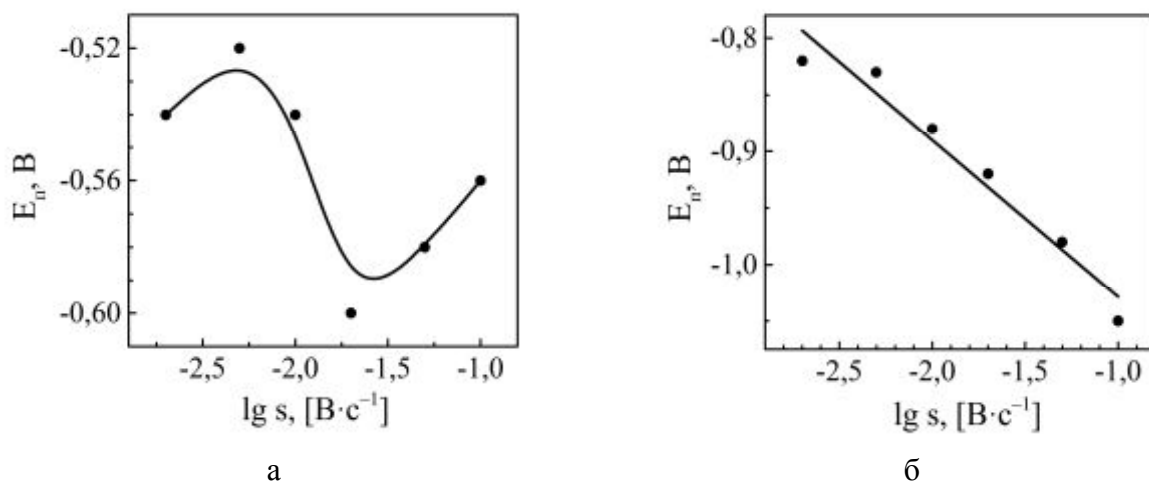


Рис. 5 – Залежність потенціалу піка вольтамперограми катодного відновлення заліза від швидкості сканування в розчині  $0,02 \text{ моль/дм}^3 \text{ Fe}_2(\text{SO}_4)_3$  на фоні  $1 \text{ моль/дм}^3 \text{ Na}_2\text{SO}_4$ : а – для першої, б – для другої хвилі.

Величина  $X_s = 0,5$  в інтервалі потенціалів  $-0,70 \dots -0,92 \text{ В}$  вказує на гальмування стадії розряду. Зменшення характеристичного критерію  $j_p/\sqrt{s}$  другої хвилі вольтамперограми катодного відновлення заліза при невеликих швидкостях розгортки потенціалу та зростання параметру  $j_p/s$  при зниженні  $c^0(\text{Fe}^{3+})$  підтверджують присутність адсорбованих частинок на поверхні електроду. Цілком імовірно, що, крім реакції (2), при потенціалах другої хвилі  $-0,70 \dots -0,92 \text{ В}$  відбувається перебіг паралельної реакції відновлення адсорбованих на поверхні катоду частинок:



що обумовлює зростання густини струму, як і швидкості процесу вцілому.

Таким чином, отримані результати створюють передумови для керування процесом катодного відновлення заліза (III) шляхом варіювання концентрації основного компонента в розчині, рН середовища, а також введення ліганду, що утворюватиме з залізом (III) розчинні комплекси і сприятиме стабілізації електроліту.

### Висновки.

За результатами досліджень встановлено, що співвідношення концентрацій електродноактивних частинок у розчині, як і рН електроліту, визначається вихідною концентрацією іонів  $\text{Fe}^{3+}$  і ступенем гідролізу.

Електрохімічна реакція відновлення заліза (III) лімітується стадією переносу заряду, визначається адсорбцією іонів  $\text{FeOH}^{2+}$  на поверхні електроду і хімічною стадією дисоціації іонів  $\text{FeOH}^+$ .

Сукупність одержаних результатів складає теоретичну базу для розробки стабільного електроліту на основі заліза (III) для формування електролітичних покриттів сплавами заліза.

**Список літератури:** 1. *Podlaha E.J.* Induced codeposition: III. Molybdenum alloys with nickel, cobalt and iron [Text] / *E.J. Podlaha, D.Landolt* // J. Electrochem. Soc. – 1997. – Vol. 144, № 5. – P. 1672 – 1680. 2. *Сахненко Н.Д.* Ресурсозаощаджувальна технологія відновлення зношених деталей [Текст] / [*Н.Д. Сахненко, М.В. Ведь, Г.В. Каракуркчи, І.Ю. Єрмоленко*] // Інтегровані технології та енергозбереження. – 2013. – № 2. – С. 9 – 13. 3. *Ведь М.В.* Каталітичні та захисні покриття сплавами і складними оксидами: електрохімічний синтез, прогнозування властивостей: монографія [Текст] / *М.В. Ведь, М.Д. Сахненко.* – Х.: НТУ «ХПІ», 2010. – 272 с. 4. *Каракуркчи А.В.* Электроосаждение двойных и тройных сплавов железа из цитратных электролитов [Текст] / [*А.В. Каракуркчи, М.В. Ведь, Н.Д. Сахненко, И.Ю. Ермоленко*] // Нанотехнологии: Наука и производство. – 2014. – № 3(30). – С. 24 – 27. 5. *Серебровский В.И.* Электроосаждение сплавов железо-молибден и железо-вольфрам [Текст] / *В.И. Серебровский* // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2003. – № 6. – С. 29 – 30. 6. *Khoe G.H.* The complexation of iron (III) with sulfate, phosphate, of arsenate ion sodium nitrate medium at 25 °C [Text] / *G.H. Khoe, R.G. Robins* // J. Chem. Soc. Dalton Trans. – 1988. – № 3. – P. 2015 – 2021. 7. *Salvatore F.* Formation constants of  $\text{FeOH}^{2+}$ ,  $(\text{FeOH})_2^+$  and  $\text{Fe}_2(\text{OH})_2^{4+}$  at zero ionic strength [Text] / *F. Salvatore, E. Vasca* // Annali di Chimica. – 1990. – № 80. – P. 515 – 520. 8. *Пон М.С.* Гетерополи- и изополиоксометаллаты [Текст] / *М.С. Пон*; [пер. с англ.]. – Новосибирск: Наука, сиб. отд., 1990. – 232 с. 9. *Сахаров Г.* Особенности динамического поведения оксиматных комплексов молибдена (VI) и вольфрама (VI) [Текст] / *Г. Сахаров, Н.А. Овчинникова, Ю.А. Буслаев* // Доклады АН. – 1995. – Т. 344, № 5. – С. 642 – 645. 10. *Серебровский В.И.* Электроосаждение бинарных сплавов на основе железа для упрочнения деталей машин [Текст] / *В.И. Серебровский* // Вестник Орловского государственного аграрного университета. – 2009. – Т. 16, № 1. – С. 9 – 12. 11. *Гнездилова Ю.П.* Электроосаждение железо-молибденовых покрытий и их сульфацианирование для упрочнения и восстановления деталей машин: дис. ... кандидата техн. наук: 05.16.01 / *Гнездилова Юлия Петровна.* – Курск, 2008. – 189 с. 12. *Гороховская В.И.* Практикум по электрохимическим методам анализа [Текст] / *В.И. Гороховская, В.М. Гороховский.* – М.: Высшая школа, 1983. – 191 с. 13. *Перевоицкова Н.Б.* К вопросу о гидролизе ионов железа (III) в водных растворах / *Н.Б. Перевоицкова, В.И. Корнев* // Вестник Удмуртского университета: электронный научный журнал. – 2006. – Вып. 8. – (Серия: Химия). – С. 189 – 198. Режим доступа: <http://vestnik.udsu.ru/archives.htm>. 14. *Гейровский Я.* Основы полярографии [Текст] / *Я. Гейровский, Я. Кута*; [пер. с чеш.]. – М.: Мир, 1965. – 559 с.

**Bibliography (transliterated):** 1. *Podlaha E.J.* Induced codeposition: III. Molybdenum alloys with nickel, cobalt and iron [Text] / *E.J. Podlaha, D.Landolt* // J. Electrochem. Soc. – 1997. – Vol. 144, № 5. – P. 1672 – 1680. 2. *Sakhnenko N.D.* Resursozaoshchadzhuvalna tekhnolohiia vidnovlennia znoshenykh detalei (Resoursesaving technology for wear machine elements restoration) [Text] / [*N.D. Sakhnenko, M.V. Ved', H.V. Karakurkchy, I.Yu. Yermolenko*] // Intehrovani tekhnolohii ta enerhozberezhennia.



– 2013. – № 2. – P. 9 – 13 (in Ukrainian). **3.** *Ved M.V.* Katalitychni ta zakhysni pokryttia splavamy i skladnymy oksydamy: elektrokhimichniy syntez, prohnozuvannya vlastyvostei (Catalytic and protective coating alloys and complex oxides: electrochemical synthesis, prediction of properties): monohrafiia [Text] / *M.V. Ved', M.D. Sakhnenko.* – Kharkiv: NTU «KhPI», 2010. – 272 p. (in Ukrainian). **4.** *Karakurkchy A.V.* Elektroosazhdenye dvoynykh y troinykh splavov zheleza yz tsytratnykh elektrolitov (Electrodeposition of iron binary and ternary alloys from citrate electrolytes) [Text] / [*A.V. Karakurkchy, M.V. Ved', N.D. Sakhnenko, Y.Yu. Yermolenko*] // Nanotekhnology: Nauka i proyzvodstvo. – 2014. – № 3 (30). – P. 24 – 27 (in Russian). **5.** *Serebrovskiy V.Y.* Elektroosazhdenye splavov zhelezo-molybden i zhelezo-volfram (Electrodeposition of iron-molybdenum and iron-tungsten alloys) [Text] / *V.Y. Serebrovskiy* // Mekhanyzatsiya y elektryfikatsiya selskoho khoziaistva. – 2003. – № 6. – P. 29 – 30 (in Russian). **6.** *Khoe G.H.* The complexation of iron (III) with sulfate, phosphate, of arsenate ion sodium nitrate medium at 25 °C [Text] / *G.H. Khoe, R.G. Robins* // J. Chem. Soc. Dalton Trans. – 1988. – № 3. – P. 2015 – 2021. **7.** *Salvatore F.* Formation constants of  $\text{FeOH}^{2+}$ ,  $(\text{FeOH})_2^+$  and  $\text{Fe}_2(\text{OH})_2^{4+}$  at zero ionic strength [Text] / *F. Salvatore, E. Vasca* // Annali di Chimica. – 1990. – № 80. – P. 515 – 520. **8.** *Pop M.S.* Heteropoly- i izopolyoksometallaty (Heteropoly- and izopolioksometallaty) [Text] / *M.S. Pop*; [per. c angl.] – Novosybyrsk: Nauka (syb. otd.), 1990. – 232 p. (in Russian). **9.** *Sakharov H.* Peculiarity of dynamic oxymate complex of molybdenum (VI) and tungsten (VI) behavior [Text] / *H. Sakharov, N.A. Ovchynnykova, Yu.A. Buslaev* // Reports AS USSA. – 1995. – T. 344, № 5. – P. 642 – 645. **10.** *Serebrovskiy V.Y.* Elektroosazhdenye bynarnykh splavov na osnove zheleza dlia uprochnnyia detalei mashyn (Electrodeposition of binary iron-based alloys for hardening of machine parts) [Text] / *V.Y. Serebrovskiy* // Vestnyk Orlovskoho hosudarstvennoho ahrarnoho unyversyteta. – 2009. – T. 16, № 1. – P. 9 – 12 (in Russian). **11.** *Hnezdylova Yu.P.* Elektroosazhdenye zhelezo-molybdenovykh pokrytyi y ykh sulfotsyanyrovanye dlia uprochnnyia y vosstanovlenyia detalei mashyn (Electrodeposition of iron-molybdenum coatings and their sulfotsianirovanie to harden and the restoration of machineparts): dys. ... kandydata tekhn. nauk: 05.16.01 / *Hnezdylova Yuliya Petrovna* – Kursk, 2008. – 189 p. (in Russian). **12.** *Horokhovskaia V.Y.* Praktikum po elektrokhimycheskym metodam analiza (Workshop on electrochemical methods of analysis) [Text] / *V.Y. Horokhovskaia, V.M. Horokhovskiy.* – Moskva: Vysshaia shkola, 1983. – 191 p. (in Russian). **13.** *Perevoshchykova N.B.* K voprosu o hydrolyze yonov zheleza (III) v vodnykh rastvorakh (On the hydrolysis of iron (III) in aqueous solutions) / *N.B. Perevoshchykova, V.Y. Kornev* // Vestnyk Udmurtskoho unyversyteta (elektronniy nauchniy zhurnal). – 2006. – Vol. 8. – (Series: Khymiya). – P. 189 – 198. – Rezhym dostupa k zhurn.: <http://vestnik.udsu.ru/archives.htm> (in Russian). **14.** *Heirovskiy Ya.* Osnovy poliarohrafyy (Fundamentals of polarography) [Text] / *Ya. Heirovskiy, Ya. Kuta*; [per. s chesh.]. – Moskva.: Myr, 1965. – 559 p. (in Russian).

*Поступила (Received) 20.10.14*