

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 Fe^{3+} . З діаграми іонних рівноваг (рис. 1) видно, що при рН 2,2...3,3 у водному розчині переважають іони Fe^{3+} і FeOH^{2+} . З розрахунку констант гідролізу встановлено, що при вихідній концентрації $c^0(\text{Fe}^{3+}) 0,04 \text{ моль/дм}^3$ дійсний вміст FeOH^{2+} становить 40 %.

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

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

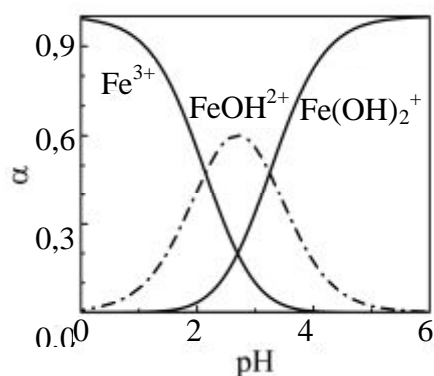
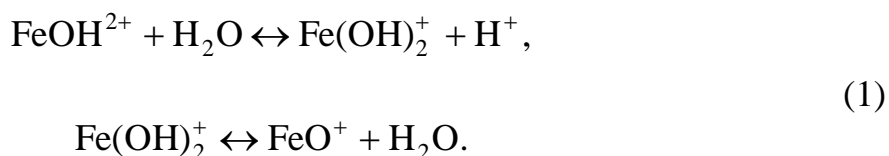


Рис. 1 – Діаграма іонних рівноваг у системі $\text{Fe}^{3+} - \text{H}_2\text{O}$

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 Fe^{3+}

Електроліт	$c^0(\text{Fe}^{3+})$, моль/дм ³	рН електроліту	Вміст у розчині, %	
			Fe^{3+}	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/дм³ Na_2SO_4 (рис. 2) мають класичну форму з двома хвилями, які відбивають стадійність процесу:

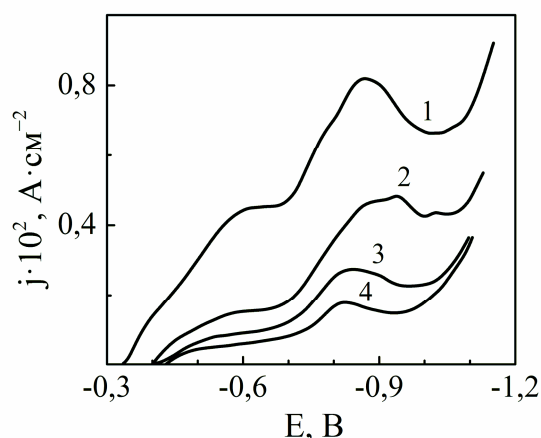
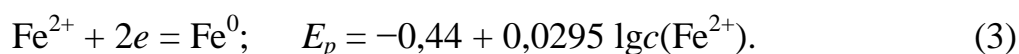
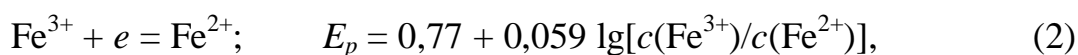


Рис. 2 – Вольтамперограми відновлення заліза з розчину $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ на фоні 1 моль/дм³ Na_2SO_4 , $c(\text{Fe}^{3+})$, моль/дм³: 0,04 (1); 0,02 (2); 0,01 (3); 0,004 (4). Швидкість сканування s , В/с: $2 \cdot 10^{-2}$.

Зменшення концентрації іонів 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.

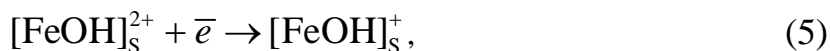
При цьому густина струму зменшується у 2,5 рази, а хвиля стає більш пологою, що також свідчить про адсорбцію реагенту і зростання внеску в за-

На поляризаційній залежності 1 (рис. 2) при $c(\text{Fe}^{3+}) = 0,04$ моль/дм³ 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 Fe^{3+} , внесок реакції (2) на першій стадії процесу буде переважаючим.

Зменшення концентрації іонів

гальний процес наступних реакцій:



При збільшенні концентрації іонів Fe^{3+} спостерігається значне підвищення густини струму в інтервалі потенціалів $-0,70 \dots -0,92$ В, за яких переважно реалізується процес відновлення Fe^{3+} до 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 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 кутовим коефіцієнтом більше 59 мВ свідчить про необоротність процесів і наявність хімічної стадії [15].

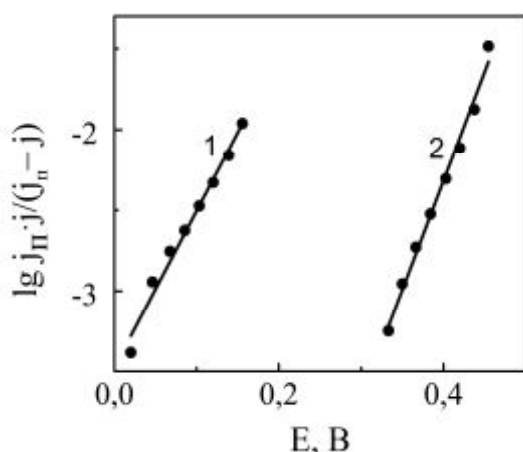


Рис. 3 – Залежності Тафеля для першої (1) і другої (2) хвиль катодної вольтамперограми в розчині $0,02$ моль/дм³ Fe^{3+} , 1 моль/дм³ Na_2SO_4 . Швидкість розгортки потенціалу s , В/с: $2 \cdot 10^{-2}$.

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

Для детального обґрунтування механізму відновлення і стабільності 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).

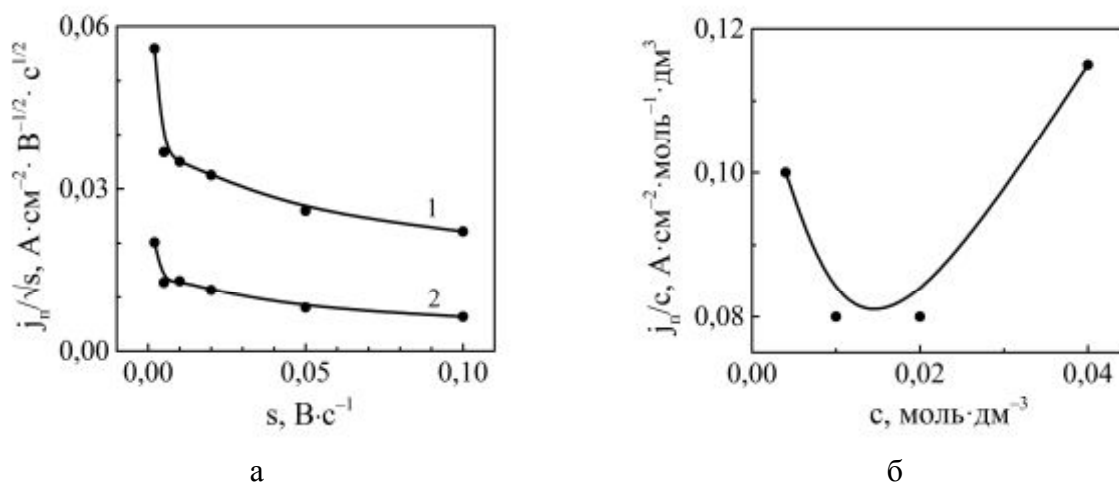


Рис. 4 – Залежність характеристичних критеріїв першої хвилі катодного відновлення заліза в розчині на фоні 1 моль/дм³ Na₂SO₄: а – $j_{\text{п}} / \sqrt{s}$ від швидкості сканування, s (Fe³⁺), моль/дм³: 0,04 (1); 0,02 (2); б – $j_{\text{п}}/c$ від концентрації іонів Fe³⁺ при $s = 2 \cdot 10^{-2}$ В/с.

Характеристичні критерії відновлення Fe³⁺ в інтервалі потенціалів $-0,34 \dots -0,60$ 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:



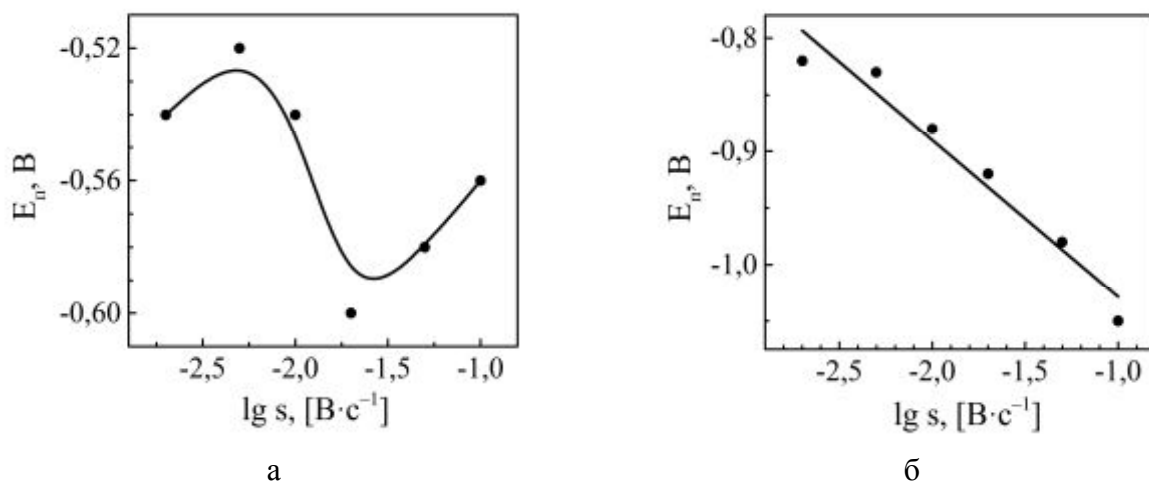


Рис. 5 – Залежність потенціалу піка вольтамперограми катодного відновлення заліза від швидкості сканування в розчині $0,02 \text{ моль/дм}^3 \text{ Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ на фоні $1 \text{ моль/дм}^3 \text{ Na}_2\text{SO}_4$: а – для першої, б – для другої хвилі.

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 Fe^{3+} і ступенем гідролізу.

Електрохімічна реакція відновлення заліза (III) лімітується стадією переносу заряду, визначається адсорбцією іонів FeOH^{2+} на поверхні електроду і хімічною стадією дисоціації іонів 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 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, prohnozuvannia 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 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.** *Perevoshchikova N.B.* K voprosu o hydrolyze yonov zheleza (III) v vodnykh rastvorakh (On the hydrolysis of iron (III) in aqueous solutions) / *N.B. Perevoshchikova, 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