

УДК 54.544.651/653

doi:10.20998/2413-4295.2022.04.11

ВПЛИВ МАТЕРІАЛУ КАТОДУ НА СУМІЩЕНІ КАТОДНІ ПРОЦЕСИ У ВОДНИХ РОЗЧИНАХ ЗАЛІЗА (II) СУЛЬФАТУ

К. М. КРАВЧЕНКО*, Г. Г. ТУЛЬСЬКИЙ

кафедра технічної електрохімії НТУ «Харківський політехнічний інститут», Харків, УКРАЇНА
*e-mail: k.n.kravchenko92@gmail.com

АНОТАЦІЯ Розглянуто вплив матеріалу катоду на суміщені катодні процеси у водних розчинах сульфатної кислоти. Підтверджено, що розроблена методика електрохімічної регенерації відпрацьованих розчинів сульфатно-кислотної обробки сталевих виробів вирішує проблему із утилізацією таких відпрацьованих сульфатних розчинів із включенням сульфатів заліза. Акцентовано увагу, що існуючі методи не є ефективними, зокрема, відпрацьовані сульфатні розчини нейтралізують лугом або відходами других виробництв, що містять тверді карбонати та гідроксиди. При цьому утворюються сульфатні відходи, що потребують захоронення на спеціальних полігонах. Під час проведення дослідів підтверджено, що застосування електрохімічної регенерації дає змогу катодно осадити залізо у вигляді фольги або металевого порошку, а через перебіг анодного процесу – перевести сульфати у сульфатну кислоту. Було встановлено кінетична закономірність суміщених катодних процесів у модельних розчинах заліза (II) сульфату з сульфатною кислотою. У якості матеріалу катоду використовували платину та мідь. Вибір матеріалу катоду ґрунтувався на різних електрохімічних властивостях цих обраних металів по відношенню до водневої реакції. За результатами проведених вольтамперних досліджень було обґрунтовано катодну густина струму у діапазоні 0,02...0,04 А·см⁻² для регенерації модельного водного розчину (моль·дм⁻³): 0,5 заліза (II) сульфату та 0,5 сульфатної кислоти для діапазону температур 290...293 К. Балансове дослідження з регенерації модельного розчину (моль·дм⁻³): 0,5 заліза (II) сульфату та 0,5 сульфатної кислоти проведено у трикамерному електролізері. Вихідний досліджуваний розчин подавався у середню камеру. Катодна густина струму складала 0,025 і 0,035 А·см⁻², робоча площа анода і катода – 85 см². На катоді з 08X12N10T одержали компактний осад заліза, який відшарувався. Аналіз катодного осаду показав наявність в залізі 0,065 % водню. Вихід за струмом заліза склав 92 %. Закінчення тафелівської ділянки перебігу катодного відновлення заліза з електрохімічним контролем відбувався через концентраційні обмеження по Fe²⁺ та омичний опір адсорбованого водню на межі гетерогенних фаз. Запропоновано усунути ці обмеження за рахунок перемішування електроліту.

Ключові слова: сульфатна кислота; кінетика; платина; мідь; металевий порошок; залізо

INFLUENCE OF CATHODE MATERIAL ON COMBINED CATHODE PROCESSES IN AQUEOUS SOLUTIONS OF IRON(II) SULPHATE

K. KRAVCHENKO, G. TULSKY

Department of Technical Electrochemistry, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, UKRAINE

ABSTRACT Sulfuric acid is present in many enterprises for metal processing and manufacturing of metal parts. Existing methods of regeneration of spent solutions are not effective, in particular, spent sulfate solutions are neutralized with lye or waste from other industries containing solid carbonates and hydroxides. At the same time, sulfate waste is formed, which requires disposal at special landfills. Electrochemical regeneration of spent solutions of sulfate-acid treatment of steel solves the problem of disposal of such spent sulfate solutions with the inclusion of iron sulfates. The kinetics of combined cathodic processes in aqueous solutions of iron (II) sulfate at a concentration of 0.5 mol·dm⁻³ of iron (II) sulfate, depending on the cathode material was studied. The research methodology was as follows: model aqueous solutions with a composition (mol·dm⁻³): 0.5 iron (II) sulfate with the addition of 0.5 sulfuric acid and a control solution – 1.0 sulfuric acid were prepared from chemicals of high stage of purification by dissolution in distilled water. The study of the kinetics of combined cathodic processes in model aqueous solutions was carried out by the method of linear voltammetry using the MTEch PGP-500 S potentiostat. The auxiliary electrode is platinum. The reference electrode is mercury sulfate. Determination of iron (II) ions in the solution was carried out by the permanganometric method. Based on the analysis of the obtained current-voltage curves, the effectiveness of the application of electrochemical regeneration of model solutions of iron (II) sulfate with sulfuric acid was established, which makes it possible to cathodically deposit iron in the form of foil or metal powder, and through the course of the anodic process - convert sulfates into sulfuric acid. During this process, oxidation of Fe²⁺ to Fe³⁺ takes place at the slightly soluble anode. Therefore, it is proposed to use polymer porous diaphragms to prevent Fe²⁺ from entering the anode space. Platinum and copper were used as cathode material. The choice of cathode material was based on different electrochemical properties of these metals in relation to the hydrogen reaction. The balance research on the regeneration of the model solution was carried out in a three-chamber electrolyzer. The initial test solution was fed into the middle chamber. The cathodic current density was 0.025 and 0.035 A·cm⁻², the working area of the anode and cathode was 85 cm². A compact iron deposit was obtained on the cathode with 08X12N10T, which peeled off. The analysis of the cathode deposit showed the presence of 0.065% hydrogen in iron. Output according to the current of iron was 92%. The end of the Tafel section of the course of cathodic reduction of iron with electrochemical control occurs due to Fe²⁺ concentration limitations and the ohmic resistance of adsorbed hydrogen at the boundary of heterogeneous phases. It is proposed to eliminate these limitations due to electrolyte mixing.

Keywords: sulfate acid; kinetics; platinum; copper; metal powder; iron

Вступ

Сульфатна кислота використовується на багатьох підприємствах, пов'язаних з обробкою

металів та виготовленням металевих деталей. Серед таких підприємств металургійні, металообробні, хімічні, гальванічні та навіть меблеві підприємства.

Після технологічних операцій з підготовки поверхні сталевих деталей утворюється багато відходів у вигляді відпрацьованих сульфатних розчинів різної концентрації, сульфатних електролітів із домішками сульфату заліза. Повторне застосування таких відпрацьованих розчинів на підприємствах, де вони використовуються не є можливим [1,2] через відсутність методів регенерації та їх відновлення. У більшості випадку відпрацьовані сульфатні розчини нейтралізують лугом або відходами інших виробництв, що містять тверді карбонати та гідроксиди. При цьому утворюються сульфатні відходи, що потребують захоронення на спеціальних полігонах.

Сучасний стан, кількість відпрацьованих сульфатних розчинів із включенням сульфатів заліза та відсутність методів їх регенерації стало рушійною силою для вирішення цієї промислової і екологічної задачі.

Мета роботи

Дослідження кінетики суміщених катодних процесів у водних розчинах заліза (II) сульфату при концентрації 0,5 моль·дм⁻³ заліза (II) сульфату в залежності від матеріалу катоду. Одержані результати будуть використані для обґрунтування можливості застосування електрохімічного методу регенерації розчинів сульфатно-кислотної обробки сталі та визначення технологічних параметрів регенерації відпрацьованих розчинів травлення заліза.

Виклад основного матеріалу

Розроблення методики електрохімічної регенерації відпрацьованих розчинів сульфатно-кислотної обробки сталевих виробів вирішує проблему із утилізацією таких відпрацьованих сульфатних розчинів із включенням сульфатів заліза. Застосування електрохімічної регенерації дає змогу катодно осадити залізо у вигляді фольги або металевого порошку, а через перебіг анодного процесу – перевести сульфати у сульфатну кислоту, що дозволяє перешкодити утворенню відходів та дає змогу не тільки покращити екологічні показники регіону, а й перейти на замкнутий цикл по використанню сульфатної кислоти. Попередній досвід вказує на економічну доцільність електрохімічних методів регенерації відпрацьованих технологічних розчинів [3].

Проблемою регенерації відпрацьованих розчинів заліза (II) сульфату є можливість окислення Fe²⁺ до Fe³⁺ на малорозчинному аноді. Тому потребує дослідження можливість застосування полімерних поруватих діафрагм для перешкоджання потрапляння Fe²⁺ до анодного простору.

Робочі розчини готували розчиненням хімікатів кваліфікації «х.ч.» у дистильованій воді. Дослідження кінетики суміщених катодних процесів у модельних

водних розчинах заліза (II) сульфату з сульфатною кислотою проводили методом лінійної вольтамперометрії з використанням потенціостату МТех PGP–500 S. Допоміжний електрод – платина. Електрод порівняння – ртутноссульфатний.

Модельні водні розчини мають наступний склад (моль·дм⁻³): 0,5 заліза (II) сульфату із додаванням 0,5 сульфатної кислоти та контрольний розчин – 1,0 сульфатної кислоти. Вольтамперні залежності виділення водню використовувались для аналізу перебігу суміщених процесів у модельних водних розчинах заліза (II) сульфату.

Визначення іонів заліза (II) у розчині проводилось перманганатометричним методом.

У ході аналізу взяли пробу 3,0 мл сульфокислого розчину іону заліза (II), додали 10 мл H₂SO₄ (1:4), розбавили до 200 мл та титрували 0,1 н. розчином перманганату калію на холоді, до появи стійкого помаранчевого окрасу [4].

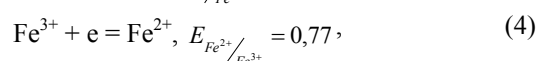
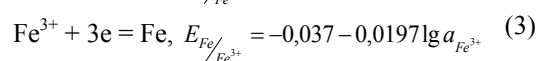
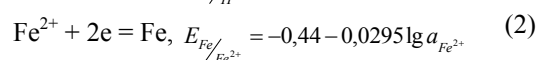
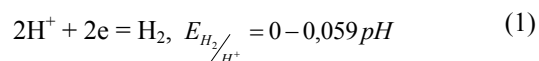
Взяті проби порівнювалися із модельним розчином відомої концентрації, для визначення вмісту та концентрації іонів Fe²⁺ у розчинах. Контрольний модельний розчин має концентрацію 366 г/л FeSO₄ та H₂SO₄ 25 г/л відповідно.

Регенерація розчинів сульфатно-кислотної обробки сталі електрохімічним методом проводиться у трьохкамерному електролізері [3]. Вихідний модельний розчин заліза (II) сульфату подавався у середню камеру. У якості діафрагм використовували міпор ПН.

Обговорення результатів

У водних розчинах сульфатної кислоти залізо існує у вигляді Fe²⁺ та Fe³⁺ [5]. При взаємодії залізних деталей з розчинами сульфатної кислоти при хімічному травленні цих деталей утворюється Fe²⁺. Під час взаємодії Fe²⁺ з киснем повітря відбувається його окиснення до Fe³⁺.

На катоді, з розчинів заліза сульфату, можливий перебіг наступних процесів:



де E – електродний потенціал реакції. З літературних джерел [2,6-8] відомо, що залізо, з кислих розчинів, відновлюється паралельно з утворенням водню. Однак, враховуючи перенапругу суміщених процесів відновлення протонів і Fe²⁺ на залізному катоді, вихід за струмом за процесом (2) може наблизитися до 100 %. Залежності від співвідношення концентрації іонів заліза і катодної

густини струму залізо може катодно осаджуватись у вигляді компактного осаду або порошку. Компактний осад заліза має значне внутрішнє напруження, що призводить до його відшаровування та крихкості. Також на властивості осаду заліза впливає концентрація Fe^{2+} в електроліті.

Для дослідження кінетики суміщених катодних процесів використовували модельні розчини заліза (II) сульфату з сульфатною кислотою. У якості матеріалу катоду застосовували платину та мідь. Вибір матеріалу катоду ґрунтувався на різних електрохімічних властивостях цих обраних металів по відношенню до водневої реакції [9–13]. Так, платина характеризується низькою перенапрягою виділення водню, а мідь – високою. Вольтамперні катодні залежності у кислих сульфатних розчинах на платиновому та мідному катодах наведено у рис. 1.

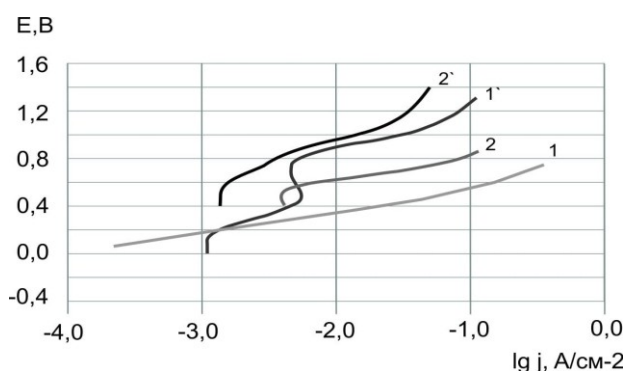


Рис. 1 – Вольтамперні катодні залежності на платиновому (1, 1') та мідному (2, 2') електродах, у розчинах (моль·дм⁻³): 1, 2 – 1,0 H₂SO₄; 1', 2' – 0,5 H₂SO₄ + 0,5 FeSO₄. Швидкість розгортки потенціалу 100 мВ за секунду

Вольтамперна катодна залежність, одержана на платиновому електроді у розчині сульфатної кислоти (рис. 1, залежність 1) відповідає виділенню водню та має широку тафелівську ділянку в діапазоні потенціалів – 0,05...–0,5 В. У розчині сульфатної кислоти та заліза (II) сульфату (рис. 1, залежність 1') залежність має дві тафелівські ділянки. Перша, при потенціалах –0,1...–0,4 В простягається до рівноважного потенціалу рівняння (1) і відповідає виділенню водню. Друга, при потенціалах до –1,0 В – відповідає суміщеному виділенню водню та відновленню заліза. Друга прямолінійна ділянка закінчується підйомом струму через концентраційні обмеження по Fe^{2+} та омичний опір адсорбованого водню на межі гетерогенних фаз. Усунути ці обмеження пропонується за рахунок перемішування електроліту.

Вольтамперна катодна залежність, одержана на мідному електроді у розчині сульфатної кислоти (рис. 1, залежність 2) прогнозовано перебігає при більш негативних потенціалах (≈ 300 мВ) через меншу каталітичну активність міді в електрохімічному виділенні водню у порівнянні з платиною. Дві тафелівські ділянки, у розчині сульфатної кислоти та

заліза (II) сульфату, на мідному катоді менш виражені через високу перенапрягу виділення водню (рис. 1, залежність 2'). Друга прямолінійна ділянка, як і на платиновому катоді, закінчується підйомом струму через концентраційні обмеження по Fe^{2+} та омичний опір. Одержані вольтамперні залежності на катодних матеріалах різної природи були використані для обґрунтування робочих густин струму вилучення заліза з відпрацьованих травильних розчинів в дослідному електролізері.

За результатами проведених вольтамперних досліджень було обґрунтовано катодну густину струму у діапазоні 0,02...0,04 А·см⁻² для регенерації модельного водного розчину (моль·дм⁻³): 0,5 заліза (II) сульфату та 0,5 сульфатної кислоти для діапазону температур 290...293 К.

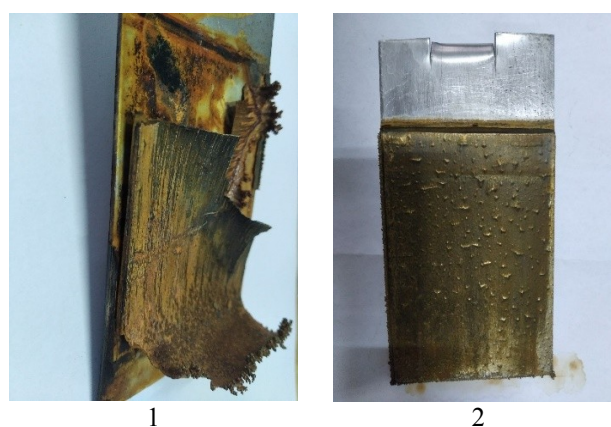


Рис. 2 – Фотографії компактного осаду заліза на катоді з 08X12H10T в залежності від густини струму (А/м²): 1 – 250; 2 – 350

Балансове дослідження з регенерації модельного водного розчину (моль·дм⁻³): 0,5 заліза (II) сульфату та 0,5 сульфатної кислоти проводили у трикамерному електролізері [3,12-14]. Вихідний досліджуваний розчин подавали у середню камеру. Катодна густина струму складала 0,025 і 0,035 А·см⁻², робоча площа анода і катода – 85 см². На катоді з 08X12H10T одержали компактний осад заліза, який відшарувався (рис.2). Аналіз катодного осаду показав наявність в залізі 0,065% водню. Вихід за струмом заліза склав 92%.

Вплив тривалості електролізу на зміну концентрації Fe^{2+} та H₂SO₄ по камерах лабораторного електролізера наведено в табл. 1.

Таблиця 1 – Зміна концентрації компонентів електролітів в залежності від часу електролізу

		Час електролізу, год			
		0,0	0,5	1,0	2,0
$C_{Fe^{2+}}$	Анодна камера	220	249	195	126
	Середня камера	220	356	339	310
	Катодна камера	220	258	193	115
$C_{H_2SO_4}$	Анодна камера	25	30	34,3	39

Наведені у табл. 1 результати вказують на ефективність застосування трикамерного електролізера для регенерації відпрацьованих травильних розчинів із застосуванням у якості діафрагм міпору ПН.

Висновки

За результатами дослідження кінетики суміщених катодних процесів у водних розчинах заліза (II) сульфату були визначені діапазони потенціалів і густини струму, які відповідають електрохімічному виділенню заліза, суміщеному з виділенням водню. Вихід за струмом виділення заліза склав 92 %.

Закінчення тафелевської ділянки перебігу катодного відновлення заліза з електрохімічним контролем відбувається через концентраційні обмеження по Fe^{2+} та омичний опір адсорбованого водню на межі гетерогенних фаз.

Проведені балансові дослідження з регенерації модельного відпрацьованого розчину (моль·дм⁻³): 0,5 заліза (II) сульфату 0,5 сульфатної кислоти у трикамерному електролізері вказали на ефективність застосування трикамерного електролізера із застосуванням у якості діафрагм міпору ПН.

На катоді з 08X12H10T одержали компактний осад заліза, який відшарувався. Аналіз катодного осаду показав наявність в залізі 0,065 % водню. Вихід за струмом осадження заліза склав 92 %.

Список літератури

1. Смірнова О. Л., Лещенко С. А. *Ресурсозберігаючі електрохімічні виробництва : навчальний посібник*. Харків: Видавництво Іванченка І.С., 2019. 120 с.
2. Кравченко К. М., Тульський Г. Г., Школьнікова Т. В. Обґрунтування технологічних показників електродних процесів у розчинах сульфатної кислоти. *Електрохімія сьогодення: здобутки, проблеми та перспективи: колективна монографія*. Київ: МПБП «Гордон», 2021. С. 191. doi: 10.33609/978-966-8398-64-3.01.2021.1-191.
3. Кравченко К. М., Тульський Г. Г. Електрохімічна регенерація відпрацьованого сульфатного розчину травлення сталі. *Актуальні питання хімії та інтегрованих технологій: матеріали міжнар. наук.-практ. конф., присвяченої 80-річчю кафедри хімії ХНУМГ ім. О. М. Бекетова (Харків, 7–8 лист. 2019 р.)*. Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2019. С. 160.
4. Циганок Л. П., Бубель Т. О., Вишнікін А. Б., Пашкевич О. Ю. *Аналітична хімія. Методи аналізу: навчальний посібник*. Дніпропетровськ: ДНУ ім. О. Гончара, 2014. 252 с.
5. Poubaix M. *Atlas D'Équilibres Electrochimiques*. Paris. Gauthier – Villars & Cie. Éditeur-Imprimeur-Libraire, 1963. 646 p.
6. Jianzhao Tang, Yuwen Pei. The Recycling of Ferric Salt in Steel Pickling Liquors: Preparation of Nano-sized Iron Oxide. *Procedia Environmental Sciences*. 2016. Vol. 31. P. 778–784. doi: 10.1016/j.proenv.2016.02.071.
7. Xiaomeng Wang, Dan Wang. Modified chemical mineralization-alkali neutralization technology:

- Mineralization behavior at high iron concentrations and its application in sulfur acid spent pickling solution. *Water Research*. 2022. Vol. 218. P. 118513. doi: 10.1016/j.watres.2022.118513.
8. Reier T., Nong H. N., Teschner D. Electrocatalytic Oxygen Evolution Reaction in Acidic Environments – Reaction Mechanisms and Catalysts. *Advanced Energy*. 2017. Vol. 7. P. 18. doi: 10.1002/aenm.201601275.
 9. Кравченко К. М., Тульський Г. Г. Титан-діоксидмарганцевий анод для регенерації сульфатно-кислотних розчинів травлення сталі. *Актуальні питання хімії та інтегрованих технологій: матеріали міжнар. наук.-практ. конф. присвяченої 100-річчю ХНУМГ ім. О. М. Бекетова (Харків, 7 червня 2022 р.)*. Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2022. С. 109.
 10. Диаб Х. М. и др. Выбор электродных материалов для электрохимической стабилизации воды. *Вісник Національного технічного університету ХПІ. Серія: Хімія, хімічна технологія та екологія*. 2017. №. 49. С. 34–38.
 11. Кравченко К. М., Тульський Г. Г. Електрохімічний метод вилучення заліза з відпрацьованих водних розчинів сульфо-кислотного травлення сталі. *Актуальні питання хімії та інтегрованих технологій. матеріали міжнар. наук.-практ. конф. присвяченої 100-річчю ХНУМГ ім. О. М. Бекетова (Харків, 7 червня 2022 р.)*. Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2022. С. 108.
 12. Кравченко К. М., Тульський Г. Г. Обґрунтування вибору матеріалів аноду для регенерації сульфатно-кислотних розчинів. *I Інтернет-конференція молодих вчених «Перспективи хімії в сучасному світі» (24 листопада 2021 року). Матеріали конференції*. Житомир: Видавництво ЖДУ ім. І. Франка, 2021. С. 57–59.
 13. Kravchenko K., Pavlov B., Tulsy G. Combined anode processes in sulfuric acid solutions. *Bulletin of the National Technical University "KhPI". Series: New solutions in modern technology*. Kharkiv: NTU "KhPI". 2020. no. 4 (6). P. 99-106. doi:10.20998/2413-4295.2020.04.15.
 14. Dan Chen, Jun Hou, Li-hua Yao, Hong-ming Jin, Guang-Ren Qian, Zhi Ping Xu, Ferrite materials prepared from two industrial wastes: Electroplating sludge and spent pickle liquor. *Separation and Purification Technology*. 2010. Vol. 75, Iss. 2. P. 210-217. doi: 10.1016/j.seppur.2010.07.009.

References (transliterated)

1. Smirnova O. L., Leshchenko S. A. *Resource-saving electrochemical production: a textbook*. Kharkiv. Publishing Ivanchenko I. S., 2019. 120 p.
2. Kravchenko K. M., Tulsy G. G., Shkolnikova T. V. Substantiation of technological indicators of electrode processes in sulfuric acid solutions. *Electrochemistry of the present: achievements, problems and prospects: a collective monograph*. Kyiv: MPBP "Gordon", 2021, pp. 191, doi: 10.33609/978-966-8398-64-3.01.2021.1-191.
3. Kravchenko K. M., Tulsy G. G. Electrochemical regeneration of the used sulfate solution of etching steel. *Current issues of chemistry and integrated technologies: materials of the international science and practice conf. dedicated to the 80th anniversary of the Department of Chemistry of XNUMG named after O. M. Beketova, Kharkiv, (November 7–8, 2019)*. Kharkiv. XNUMG named after O. M. Beketova, 2019, p. 160.
4. Tsyganok L. P., Bubel T. O., Vyshnikin A. B., Vashkevich O. Y. *Analytical chemistry. Methods of analysis: study*

- guide. Dnipropetrovsk. DNU named after O. Honchara, 2014, 252 p.
- Poubaix M. *Atlas D'Équilibres Electrochimiques*. Paris. Gauthier – Villars & Cie. Éditeur-Imprimeur-Libraire, 1963, 646 p.
 - Jianzhao Tang, Yuwen Pei. The Recycling of Ferric Salt in Steel Pickling Liquors: Preparation of Nano-sized Iron Oxide. *Procedia Environmental Sciences*, 2016, Vol. 31, pp. 778-784, doi: 10.1016/j.proenv.2016.02.071.
 - Xiaomeng Wang, Dan Wang. Modified chemical mineralization-alkali neutralization technology: Mineralization behavior at high iron concentrations and its application in sulfur acid spent pickling solution. *Water Research*, 2022, Vol. 218, pp. 118513, doi: 10.1016/j.watres.2022.118513.
 - Reier T., Nong H. N., Teschner D. Electrocatalytic Oxygen Evolution Reaction in Acidic Environments – Reaction Mechanisms and Catalysts. *Advanced Energy*, 2017, Vol. 7, p. 18, doi: 10.1002/aenm.201601275.
 - Kravchenko K. M., Tulsy G. G. Titanium-manganese dioxide anode for regeneration of sulfate-acid solutions of steel pickling. *Current issues of chemistry and integrated technologies: materials of the international science and practice conf. dedicated to the 100th anniversary of XNUMX named after O. M. Beketova (Kharkiv, June 7, 2022)*. Kharkiv. XNUMX named after O. M. Beketova, 2022, p. 109.
 - Diab Kh. M. [et al.]. Selection of electrode materials for electrochemical stabilization of water. *Bulletin of the KhPI National Technical University. Series: Chemistry, chemical technology and ecology*, 2017, no. 49, pp. 34–38.
 - Kravchenko K. M., Tulsy G. G. Electrochemical method of iron extraction from spent aqueous solutions of sulfo-acid etching of steel. *Current issues of chemistry and integrated technologies. materials of the international science and practice conf. dedicated to the 100th anniversary of XNUMX named after O. M. Beketova (Kharkiv, June 7, 2022)*. Kharkiv. XNUMX named after O. M. Beketova, 2022, p. 108.
 - Kravchenko K. M., Tulsy G. G. Justification of the choice of anode materials for regeneration of sulphatic acid solutions. *I Internet conference of young scientists "Prospects of chemistry in the modern world" (November 24, 2021). Conference materials*. Zhytomyr. ZhSU Publishing House I. Franko, 2021, pp. 57–59.
 - Kravchenko K., Pavlov B., Tulsy G. G. Combined anode processes in sulfuric acid solutions. *Bulletin of the National Technical University "KhPI". Series: New solutions in modern technology*. Kharkiv: NTU "KhPI", 2020, no. 4 (6), pp. 99–106, doi: 10.20998/2413-4295.2020.04.15.
 - Dan Chen, Jun Hou, Li-hua Yao, Hong-ming Jin, Guang-Ren Qian, Zhi Ping Xu, Ferrite materials prepared from two industrial wastes: Electroplating sludge and spent pickle liquor. *Separation and Purification Technology*, 2010, Vol. 75, Iss. 2, pp. 210–217, doi: 10.1016/j.seppur.2010.07.009.

Відомості про авторів (About authors)

Кравченко Кристина Миколаївна – аспірант, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», кафедра технічної електрохімії; м. Харків, Україна; ORCID: 0000-0002-9412-1393; e-mail: k.n.kravchenko92@gmail.com.

Kravchenko Kristina – postgraduate student, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Department of Technical Electrochemistry; Kharkiv, Ukraine; ORCID: 0000-0002-9412-1393; e-mail: k.n.kravchenko92@gmail.com.

Тульський Геннадій Георгійович – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», кафедра Технічної електрохімії; м. Харків, Україна; ORCID 0000-0003-2662-8333; e-mail: tgg@kpi.kharkov.ua

Tulsky Gennady – Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of Department, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Department of Technical Electrochemistry; Kharkiv, Ukraine; ORCID 0000-0003-2662-8333; e-mail: tgg@kpi.kharkov.ua

Будь ласка, посилайтеся на цю статтю наступним чином:

Кравченко К. М., Тульський Г. Г. Вплив матеріалу катоду на суміщені катодні процеси у водних розчинах заліза (II) сульфату. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ»*. Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків: НТУ «ХПІ». 2022. № 4 (14). С. 70-74. doi:10.20998/2413-4295.2022.04.11.

Please cite this article as:

Kravchenko K., Tulsy G. Effect of cathode material on combined cathodic processes in aqueous solutions of iron (II) sulfate. *Bulletin of the National Technical University "KhPI". Series: New solutions in modern technology*. – Kharkiv: NTU "KhPI", 2022, no. 4(14), pp. 70–74, doi:10.20998/2413-4295.2022.04.11.

Надійшла (received) 08.10.2022