

ФЕРИТНА ОЧИСТКА СТИЧНИХ ВОД ВІД ІОНІВ ЦИНКУ: ВПЛИВ ШВИДКОСТІ АЕРАЦІЇ

Богдан Ємчура¹, Геннадій Кочетов², Дмитро Самченко³

^{1,2,3}Київський національний університет будівництва та архітектури
31, Повітрофлотський пр., м. Київ, Україна, 03037

¹аспірант, yemchura.b.m@gmail.com, orcid.org/0000-0001-8079-3407

²докт. тех. наук, професор, gkochetov@gmail.com, orcid.org/0000-0003-0041-7335

³канд. тех. наук, мол. наук. сп., sama30071988@gmail.com, orcid.org/0000-0003-3305-8180

DOI: 10.32347/2524-0021.2018.30.14-22

Анотація. Актуальною на сьогоднішній день є розробка та вдосконалення комплексних технологій очистки води, що мають як високу ефективність вилучення забруднень, так і невеликий рівень ресурсозатрат. Досліджено вплив витрати повітря на процес феритної очистки концентрованих стічних вод промислових виробництв від цинку. Визначено залежність ступеня вилучення іонів важких металів від швидкості аерації. Найкращі результати очистки стічних вод від іонів цинку досягнуті при низьких значеннях швидкості аерації. Ефективність вилучення іонів феруму має зворотну залежність і зростає при збільшенні витрати повітря. Також вивчено вплив швидкості аерації на структуру осадів феритизації. Осади є хімічно стійкими, характеризуються щільною кристалічною структурою та феромагнітними властивостями. На основі отриманих експериментальних досліджень визначено раціональну швидкість аерації для процесу феритизації, що забезпечує економію електроенергії в технологічному процесі феритної очистки стічної води. Визначено напрямок подальших досліджень очистки стічних вод ліній цинкування для забезпечення необхідної якості води при використанні замкнених схем оборотного водопостачання.

Ключові слова: феритизація; очистка стічних вод; аерація; осад; сполуки цинку.

ВСТУП

В умовах сучасності із невпинним ростом глобалізації та індустріалізації всіх сфер життя, постійним впровадженням автоматизованих процесів і, як наслідок, зростанням потреби в техніці, актуальною є проблема знешкодження та утилізації стічних вод гальванічних ліній промислових підприємств. На сьогоднішній день на теренах України більше 2000 промислових об'єктів мають діючі лінії гальванічного виробництва, більшість з яких не забезпечують належного рівня очистки стічних вод [1]. В зв'язку із цим на часі є розробка маловідходних технологій очистки гальванічних стоків із можли-

вістю забезпечення оборотного водопостачання та безпечної утилізації відходів очистки. Найнебезпечнішими забрудниками стічних вод гальванічного виробництва є сполуки важких металів, які є вкрай небезпечними як для водойм і їх мешканців, так і для людини. Понад 70% загальної кількості важких металів що містяться в рідких відходах гальванічного виробництва становить іони Zn^{2+} [2]. З огляду на це, одним із пріоритетних завдань в галузі водокористування є розробка енергоефективних та екологічно безпечних технологій очищення гальванічних стоків в цілому та від сполук цинку зокрема. Вирішення цього завдання дасть змогу значно зменшити негативний вплив та навантаження

на природні водні ресурси, що в свою чергу позитивно вплине на санітарно-гігієнічний стан довкілля в цілому.

ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

Аналіз існуючих методів очистки гальванічних стоків показав, що на сьогоднішній день широко застосовуються іонообмінні, сорбційні, мембранні, електрохімічні методи, але найпоширенішим залишається реагентний метод [3]. Застосування методу реагентного осадження іонів важких металів, в тому числі і цинку, дозволяє досягнути відносно невисокого рівня очищення при значних затратах часу та реагентів.

Більш перспективною в порівнянні з зазначеними методами є переробка стічної води методом феритизації [4-7]. Суть феритного методу полягає у створенні в забрудненій воді умов, які сприяють швидкому формуванню дисперсних речовин з магнітними властивостями в присутності іонів феруму, які завжди містяться у рідких відходах гальванічних виробництв. Ця технологія дає можливість забезпечити повторне використання як сполук важких металів, так і очищеної води на виробництві. При феритизації формуються хімічно стійкі осади з переважно кристалічною феритною структурою, які практично не містять кристалізаційної чи адсорбованої води. Осади очищення стічних вод ліній цинкування феритизацією, як правило, мають складний фазовий склад і містять наступні сполуки: оксиди, оксигідрати та ферити заліза і цинку різних модифікацій [8, 9] на відміну від осадів реагентної очистки які є гідроксидними та гідрокарбонатними [10].

В процесах цинкування використовують електроліти різного складу, проте їх основним компонентом є сульфат цинку ($ZnSO_4 \cdot 7H_2O$). Концентрація іонів цинку в електролітах знаходиться в межах від 350 до 700 г/л. Проте, з часом вона знижується до значень ≈ 300 г/л; крім того, електроліт забруднюється різ-

ними шкідливими домішками, в першу чергу – сполуками феруму [11].

В результаті наших попередніх досліджень [12,13] були визначені найкращі значення основних технологічних параметрів процесу феритизації:

- рН – 10...10,5;
- рівень вихідних концентрацій іонів важких металів, $C_{\text{вих. заг.}} \leq 20$ г/л;
- співвідношення концентрацій іонів $Fe^{2+}/Zn^{2+} - 5/1$;
- час процесу – 15...20 хв;
- температура середовища – 70° С.

Крім вказаних вище параметрів на перебіг процесу феритизації безумовно впливає також витрата окисника, який барботується крізь розчин. У виробничій практиці для цього, зазвичай, використовується кисень повітря. Аналіз літературних джерел показав, що вплив швидкості аерації на процес феритизації практично не досліджувався. Як правило, при проведенні процесу використовується фіксована витрата повітряної суміші – орієнтовно 1 см³/с. Проте на основі даних, які наведені в [14] можна зробити висновок що кількість кисню, а отже і повітря, яке барботується крізь реакційну суміш впливає на процеси формування кристалічної структури основних компонентів осаду.

МЕТА ДОСЛІДЖЕННЯ

Метою цього експериментального дослідження є вивчення впливу швидкості аерації повітря на якість очистки концентрованих стічних вод ліній цинкування методом феритизації. Для досягнення поставленої мети необхідно виконати наступні завдання:

- визначити вплив витрати окисника на ступінь вилучення іонів цинку і заліза;
- дослідити склад осадів феритизації при застосуванні різних швидкостей аерації окисника.

МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Для вивчення впливу швидкості аерації на процес феритної очистки концентрованих стічних вод ліній цинкування використовувався модельний розчин, який за складом максимально наближений до реальних рідких відходів гальванічного виробництва. В лабораторних умовах було приготовано модельний розчин, який за складом відповідав відпрацьованому кислому електроліту цинкування (табл. 1) [15].

Для проведення експериментальних досліджень використовувався лабораторний ферит-реактор зображений на рис.1.

Процес феритизації проводився за наступним чином: модельний розчин роз-

бавляли водою до отримання концентрації іонів цинку 3,16 г/л, яка є найбільш раціональною для проведення процесу феритизації. До цього розчину додавався 25% розчин сульфату феруму (II) до співвідношення іонів $Fe^{2+}/Zn^{2+} = 5/1$ та сумарної концентрації іонів важких металів 19 г/л, а далі при перемішуванні добавляли 25% розчин їдкого натру до досягнення величини рН 10,5. Феритизацію проводили в термостаті 1 (рис. 1), підтримуючи температуру 70°C протягом 15 хв. Впродовж цього часу компресором 8 з системою розподілу повітря 6 крізь реакційну суміш барботувалось повітря з витратою межах 0,5...3,5 л/хв. Планування 6 серій дослідів наведено в табл. 2.

Табл. 1 Основні характеристики електроліту цинкування
Table. 1 Basic characteristics of electrolyte zinc plating

№ п/п	Компонент	Концентрація у електроліті, г/л		Показник рН
		вихідному	відпрацьованому	
1	ZnSO ₄ · 7H ₂ O	700	300	3,5...4,5
2	Al ₂ (SO ₄) ₃ · 18H ₂ O	30	10	
3	Na ₂ SO ₄ · 10H ₂ O	40	20	
4	H ₃ BO ₃	10	5	

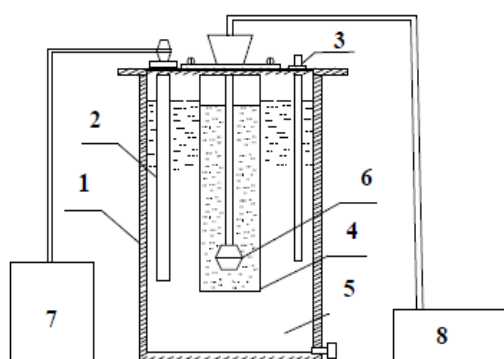


Рис. 1. Лабораторний ферит-реактор. 1 – корпус термостата; 2 – трубчатий нагрівальний елемент (ТЕН); 3 – термометр; 4 – циліндр з розчином; 5 – вода; 6 – аератор; 7 – реостат РПШ; 8 – компресорна установка

Fig. 1. Laboratory ferrite reactor. 1 – thermostat case; 2 – heating element; 3 – thermometer; 4 – a cylinder with a solution; 5 – water; 6 – aerator; 7 – rheostat; 8 – compressor

Табл. 2. Умови проведення дослідів очистки модельних розчинів відпрацьованого електроліту цинкування

Table. 2. Conditions of conducting experiments on purification of model solutions of spent electrolyte of zinc plating

№ п/п	Відношення Fe^{2+}/Zn^{2+}	Початкова концентрація С, [г/л]		Витрата повітряної суміші Q, [л/хв]	Тривалість реакції t, хв	Температура розчину Т, °С	рН
		Zn ²⁺	Fe ²⁺				
1	5/1	3,16	15,82	0,5	15	70	10,5
2	5/1	3,16	15,82	1,5	15		
3	5/1	3,16	15,82	2	15		
4	5/1	3,16	15,82	2,5	15		
5	5/1	3,16	15,82	3,5	15		
6	5/1	3,16	15,82	0,5	25		

Після завершення процесу феритизації утворену суспензію охолоджували до кімнатної температури та фільтрували. Осад промивався деіонізованою водою, висушувався та направляли на рентгенофазовий аналіз. Дослідження структури осадів отриманих після феритизації проводили методом порошкової дифракції, з використанням Cu-K α випромінювання, на дифрактометрі XRD-6000 (Shimadzu, Японія) з графітовим монохроматом. Крок сканування становив 0,05° в діапазоні кутів 2 θ від 10° до 60°. Дифрактограми розшифровували за допомогою бази даних ICDD PDF2+ – 2003 (The International Centre for Diffraction Data, США) та програмного забезпечення Match V.1.9a (Crystal Impact, США).

В фільтраті визначали залишкові концентрації іонів заліза та цинку. Аналіз проводили на атомно-абсорбційному спектрофотометрі «Сатурн-2».

Ефективність очистки стічної води лінії цинкування визначали за формулою:

$$\alpha = (C_{\text{вих}} - C_{\text{зал}}) \cdot 100\% / C_{\text{вих}}$$

де: α – ступінь очистки, %; $C_{\text{вих}}$ і $C_{\text{зал}}$ – вихідна і залишкова концентрації іонів в розчині, мг/л.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Результати експерименту з очистки стічних вод від сполук цинку наведено в таблиці 3. Дані аналізу фільтрату, які наведені табл. 3, свідчать про те, що вода після феритної очистки відповідає вимогам ГДК [16] та може бути направлена в систему оборотного водопостачання для промивних операцій по I категорії.

На рис.2 зображена залежність залишкових концентрації іонів цинку та феруму від швидкості аерації. Отримані експериментальні дані залишкових, в дослідженому нами діапазоні свідчать про те, що зі збільшенням витрати повітря ефективність вилучення іонів цинку дещо зменшується. Ефективність же видалення іонів феруму із стічної води підвищується при зростанні швидкості аерації. На нашу думку це обумовлено утворенням фериту цинку $ZnFe_2O_4$ та одночасним зменшенням кількості магнетиту Fe_3O_4 . Ці сполуки мають щільні кристалічні структури шпінельного типу та зв'язують значну кількість відповідно іонів цинку і феруму, які знаходяться у вихідному розчині.

Табл. 3. Результати очистки модельних розчинів електроліту цинкування
Table. 3. Results of purification of model solutions of galvanizing electrolyte

№ проби	Залишкова концентрація С, [г/л]		Ступінь очистки α, [%]		Нормативні ГДК для гальванічних потреб (ГОСТ 9.314-90)					
	Zn ²⁺	Fe ²⁺	Zn ²⁺	Fe ²⁺	I кат.		II кат.		III кат.	
					Zn ²⁺	Fe ²⁺	Zn ²⁺	Fe ²⁺	Zn ²⁺	Fe ²⁺
1	0,12	0,56	96,2	96,46	5,0	0,3	1,5	0,1	0,2	0,05
2	0,13	0,28	95,78	98,23						
3	0,14	0,14	95,6	99,1						
4	0,27	0,18	91,45	98,86						
5	0,2	0,08	93,67	99,5						
6	0,18	0,41	94,3	97,4						

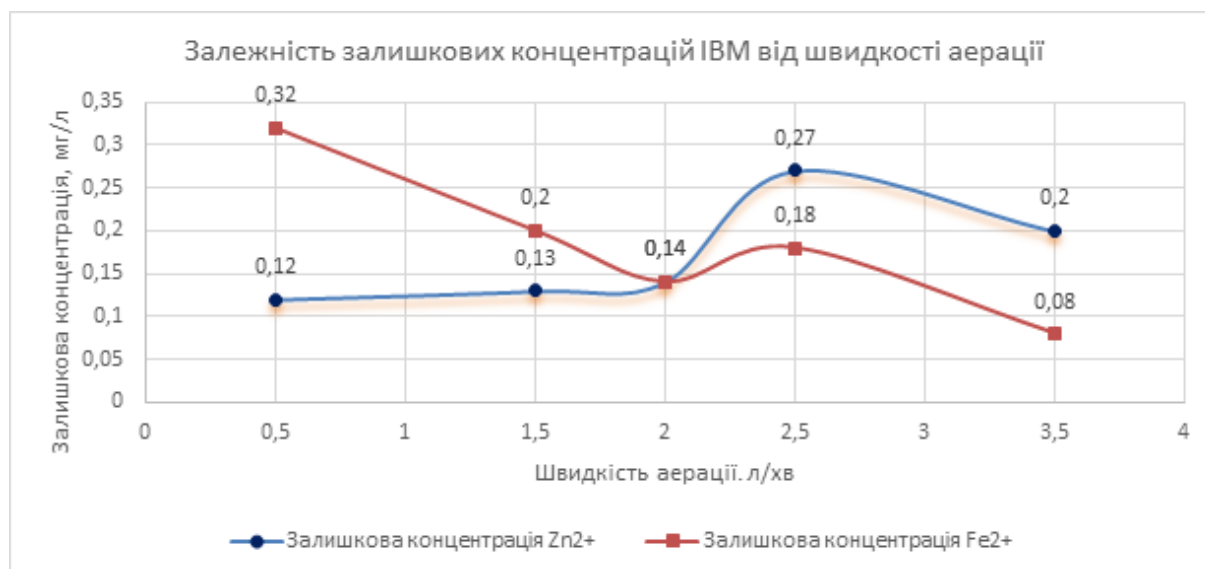


Рис. 2. Залежність залишкових концентрацій ІВМ від швидкості аерації
Fig. 2. Dependence of residual concentrations of NMI on the rate of aeration

Рентгенівські дифрактограми, які представлені на рис. 3, характеризують структуру феромагнітних осадів при різних значеннях швидкості аерації. Як свідчить аналіз наведених даних, швидкість аерації впливає як на залишкові концентрації іонів цинку та феруму, так і на склад самого осаду: зі збільшенням витрати повітря кількість феритної фази в осаді зменшується. Натомість формується оксигідроксидна фаза в невеликих

кількостях (рис. 3 б і в). При малій витраті окисника в осаді переважає фаза фериту цинку ZnFe₂O₄. Крім того, результат досліду 6, який був проведений при більшій тривалості процесу феритизації та мінімальній аерації (рис. 3 з) свідчить, що барботаж невеликої кількості повітря протягом довшого проміжку часу сприятливо впливає на структуру осаду: вміст феритної фази складає 94,4%.

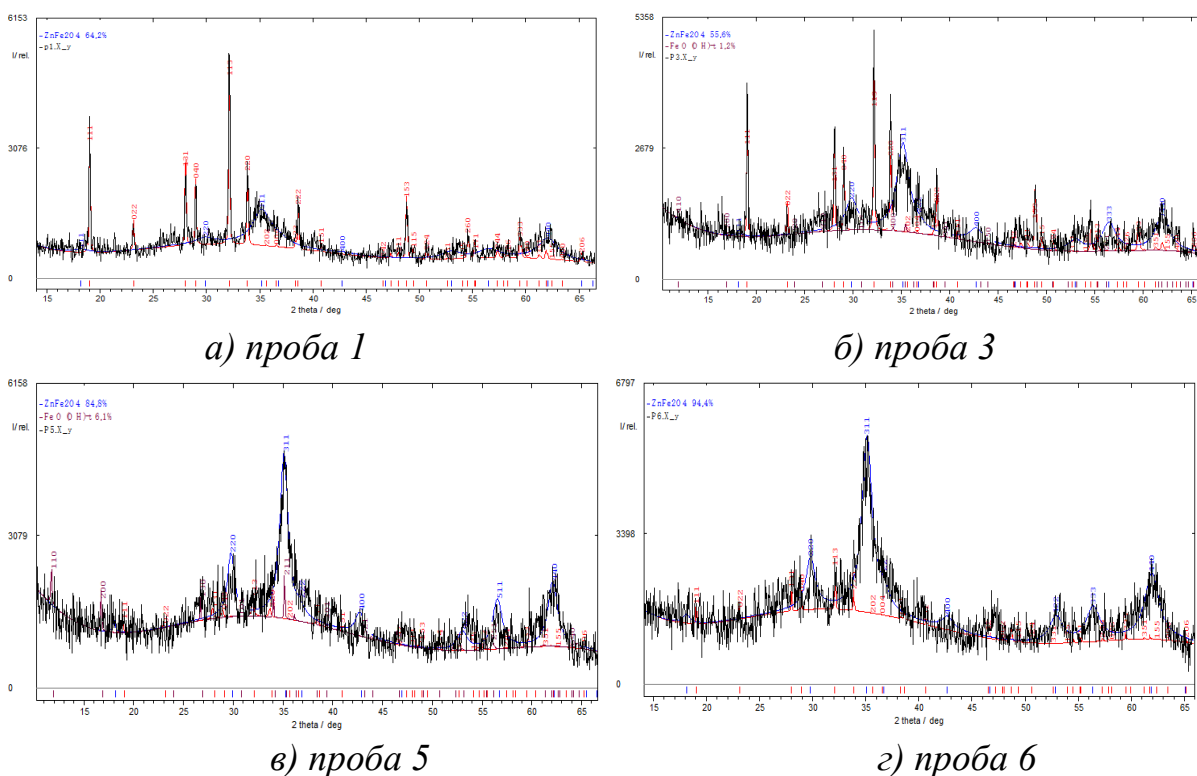


Рис. 3. Дифрактограми зразків осадів феритизації
Fig. 3. The diffraction patterns of samples of ferritization sediments

Таким чином, отримані результати вказують на те, що феритизацію доцільно проводити при невеликій швидкості аерації в межах 0,5...1,5 л/хв, та тривалості процесу 15 хв. При цих параметрах процесу відбувається утворення стійких твердих фаз, котрі мають дисперсну структуру, а як наслідок високу сорбційну здатність. З огляду на це, з'являється можливість використання отриманих осадів як сорбентів в процесах очистки гальванічних стічних вод [17]. Також спираючись на результати попередніх [18-20], можлива безпечна утилізація осадів шляхом введення їх до складу лужних бетонів не завдаючи негативного впливу на їх характеристики.

Очищена вода в результаті процесу феритизації за рівнем залишкових концентрацій іонів важких металів відповідає вимогам систем оборотного водопостачання. Проте, для повторного використання цієї води потрібно вилучити надлишок сульфатів, котрі перевищують відповідні нормативи в 10-12 разів, та

хлоридів – перевищення в 3-5 разів. Виконання цих завдань є перспективним для розвитку та вдосконалення технології феритної очистки стічних вод гальванічних виробництв, які містять сполуки цинку.

ВИСНОВКИ

Досліджено вплив витрати повітря на процес феритної очистки концентрованих стічних вод гальванічних виробництв від сполук цинку. Визначено залежність ефективності вилучення іонів важких металів від швидкості аерації. Найефективніші результати досягнуті при мінімальних значеннях швидкості аерації. Ступінь очищення влучення іонів феруму має протилежну залежність і зростає при збільшенні витрати повітря.

Вивчено вплив кількості окисника: при збільшенні витрати повітря кількість феритної фази в осаді зменшується. Натомість спостерігається формування невеликої кількості оксигідратної фази. При малій витраті окисника в осаді

переважає фаза фериту цинку. Осади є хімічно стійкими, характеризуються щільною кристалічною структурою та феромагнітними властивостями.

На основі отриманих результатів можна зробити висновок, що найбільш прийнятна швидкість аерації для процесу феритизації становить 0,5...1,5 л/хв. Незначні витрати повітря дозволяють раціонально регулювати потужність і ресурсоемність обладнання та капітальні затрати на очистку.

Стічна вода, яка очищена феритизацією, відповідає вимогам для її повторного використання в процесах промивки за показниками залишкових концентрацій іонів важких металів.

ЛІТЕРАТУРА

1. **Кочетов Г. М.** Розробка системи очищення промивних вод гальванічних виробництв. *Проблеми водопостачання, водовідведення та гідравліки: Наук.-техн. зб. Вип. 10, 2008. С. 73-78.*
2. **Rubanov Yu. K., Tokach Yu. E., Nechaev A. F., Ognev M. N.** The galvanic productions waste waters and sludges processing with the heavy metals ions extraction. *European Journal of Natural History. Vol. 6. 2009. P. 79 – 80.*
3. **Fu, F., Qi, W.** Removal of heavy metal ions from wastewaters: a review. *J. Environ. Manag.* 92(3), 2009. P. 407 – 418.
4. **Hsing-Cheng, L., Juu-En, C., Pai-Haung, S., Li-Choung. C.** Stabilization of copper sludge by high-temperature CuFe₂O₄ synthesis process. *Journal of Hazardous Materials*, 150 (3), 2009. 504 – 509.
5. **Tu, Y.J., Chang, C.K., You, C.F., Wang, S.L.** Treatment of complex heavy metal wastewater using a multi-staged ferrite process. *J. Hazard. Mater.* 209, 2012. P. 379–384.
6. **Kochetov G., Prikhna T., Kovalcheuk O., Samchenko D.** Research of the treatment of depleted Nickel-plating electrolytes by the ferritization method. *East-European journal of enterprise technologies.* 93, 2018. P.54–59
7. **Heuss-Abbichler S., John M., Klapper D., Bläß U. W., Kochetov G.** Recovery of copper as zero-valent phase and or copper oxide nanoparticles from wastewater by ferritization *Journal of Environmental Management.* 2016. P. 33 – 41.
8. **P. Singh, R. S. Payal, R. C. Srivastava, H. M. Agrawal, P. Chand, A. Tripathi, R. P. Tripathi.** Effect of thermal treatment on the magnetic properties of nanostructured zinc ferrite. *Journal of Physics: Conference Series.* 2010. № 217.
9. **Cornell, R.M., Schwertmann, U.** The Iron Oxides. Structure, Properties, Reactions, Occurrence and Use. Wiley-VCH. 2003.
10. **Tokach, Y. E., Rubanov, Y. K., Pivovarova N. A., Balyatinskaya, L. N.** Galvanic Sludge Recycling with the Extraction of Valuable Components, *Middle-East. Journal of Scientific Research*, 2013. 18 (11), 1646 – 1655.
11. **Виноградов С. С.** Экологически безопасное гальваническое производство. – Выпуск 3. М.: Глобус, 1998.
12. **Науменко І. В. Кочетов Г. М. Іщенко М. В.** Ресурсоощадна переробка рідких відходів, які містять цинк, феритним методом. *Проблеми водопостачання, водовідведення та гідравліки.* 2014. Вип. 22, С. 119–125.
13. **Кочетов Г. М. Олександренко О. П.** Удосконалення очищення відпрацьованих електролітів хромування методом феритизації. *Проблеми водопостачання, водовідведення та гідравліки.* 2016. Вип. 27. с. 210–207.
14. **Журавлев Г. И** Химия и технология ферритов. Л.: Химия, 1970. 192 стр.
15. **Гальванические покрытия в машиностроении.** / Под ред. М.А. Шлугера, Л.Д. Тока. Справочник в 2 томах. Том 2.: Машиностроение. М.: 1985.
16. **ГОСТ 9.314-90.** Единая система защиты от коррозии и старения. Вода для гальванического производства и схемы промывок. Общие требования. М.: Изд. стандартов, 1990. 16 с.
17. **Gunjekar J. L., More A. M., Gurav K. V., Lokhande C. D.** Chemical synthesis of spinel nickel ferrite (NiFe₂O₄) nano-sheets. *App Surf Sci.* 2008. Vol. 254. P. 5844 – 5848.
18. **Колодько А. О., Кочетов Г. М., Самченко Д. М., Пасько А. В.** Вивчення стійкості відходів очистки промислових стічних вод у складі лужних цементів. *Проблеми водопостачання, водовідведення та гідравліки.* 2017. Вип. 28. С. 180–186.
19. **Applicability** of alkaliactivated cement for immobilization of lowlevel radioactive waste in ion-exchange resins / Kryvenko P., Cao H., Petropavlovskiy O., Weng L., Kovalchuk O. //

Eastern European Journal of Enterprise Technologies. 2016. Vol. 1, Issue. 6. P. 40 – 45.
 20. **Krivenko P., Kovalchuk O., Pasko A.** Utilization of industrial waste water treatment residues in alkali activated cement and concretes // Key Engineering materials. 2017. Vol. 761. P.35 – 38.

REFERENCE

1. **Kochetov G. (2008).** Development of a system of cleaning of washing waters of electroplating manufactures. *Problems of water supply, sewerage and hydraulic*, 10. 73-78. [in Ukrainian]
 2. **Rubanov Yu. K., Tokach Yu. E., Nechaev A. F., Ognev M. N. (2009).** The galvanic productions waste waters and sludges processing with the heavy metals ions extraction. *European Journal of Natural History*. 6. 79 – 80.
 3. **Fu, F., Qi, W. (2011).** Removal of heavy metal ions from wastewaters: a review. *J. Environ. Manag.* 92(3). 407 – 418. doi.org/10.1016/j.jenvman.2010.11.011
 4. **Hsing-Cheng, L., Juu-En, C., Pai-Haung, S., Li-Choung, C. (2008).** Stabilization of copper sludge by high-temperature CuFe₂O₄ synthesis process. *Journal of Hazardous Materials*, 150 (3). 504 – 509. doi:10.1016/j.jhazmat.2007.04.130
 5. **Tu, Y.J., Chang, C.K., You, C.F., Wang, S.L. (2012).** Treatment of complex heavy metal wastewater using a multi-staged ferrite process. *J. Hazard. Mater.* 209, 379–384. doi.org/10.1016/j.jhazmat.2012.01.050
 6. **Kochetov G., Prikhna T., Kovalcheuk O., Samchenko D. (2018).** Research of the treatment of depleted Nickel-plating electrolytes by the ferritization method. *East-European journal of enterprise technologies*. 93, 54–59. doi.org/10.15587/1729-4061.2018.133797
 7. **Heuss-ABBichler S., John M., Klapper D., Bläß U. W., Kochetov G. (2016).** Recovery of copper as zero-valent phase and or copper oxide nanoparticles from wastewater by ferritization. *Journal of Environmental Management*. P. 33 – 41. doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.05.053
 8. **P Singh, R S Payal, R C Srivastava, H M Agrawal, Prem Chand, Amita Tripathi and R P Tripathi. (2010).** Effect of thermal treatment on the magnetic properties of

nanostructured zinc ferrite. *Journal of Physics: Conference Series*. 217.

doi:10.1088/1742-6596/217/1/012108

9. **Cornell, R.M., Schwertmann, U. (2003).** The Iron Oxides. Structure, Properties, Reactions, Occurrence and Use. *Wiley-VCH*.

10. **Tokach, Y. E., Rubanov, Y. K., Pivovarova N. A., Balyatinskaya, L. N. (2013).** Galvanic Sludge Recycling with the Extraction of Valuable Components. *Middle-East. Journal of Scientific Research*, 18 (11). 1646 – 1655.

doi:10.5829/idosi.mejsr.2013.18.11.70119

11. **Vinogradov S.S. (1998).** Ecologically safe galvanic production. Issue 3. *Moscow: Globus*. [in Russian]

12. **Naumenko I., Kochetov G., Ischchenko N. (2014).** Resource-saving processing of liquid wastes containing zinc, ferrite method. *Problems of water supply, sewerage and hydraulic*, 22. 119-125. [in Ukrainian]

13. **Kochetov G. Oleksandrenko O. (2016).** Improvement of the purification of spent electrolytes by chromatating by ferritization. *Problems of water supply, sewerage and hydraulic*. 27. 210-207. [in Ukrainian]

14. **Zhuravlev G. (1970).** Chemistry and technology of ferrites. *L.: Chemistry*. 192. [in Russian]

15. **M.A. Shluger, L.D. Tok (Eds.) (1985).** Electroplated coatings in mechanical engineering. Reference in 2 volumes. Volume 2.: "Mechanical Engineering" *Moscow*. [in Russian]

16. **GOST 9.314-90 (1990).** Unified system of protection against corrosion and aging. Water for electroplating and washing schemes. General requirements *Moscow.: Izd. Standards*. 16. [in Russian]

17. **Gunjakar J. L., More A. M., Gurav K. V., Lokhande C. D. (2008).** Chemical synthesis of spinel nickel ferrite (NiFe₂O₄) nano-sheets. *App Surf Sci*. Vol. 254. P. 5844 – 5848. doi: 10.1016/j.apsusc.2008.03.065

18. **Kolodko A., Kochetov G., Samchenko D., Pasko A. (2017).** Study of the stability of industrial wastewater treatment waste in alkaline cements. *Problems of water supply, sewerage and hydraulic*. 28. 180-186. [in Ukrainian]

19. **Kryvenko P., Cao H., Petropavlovskiy O., Weng L., Kovalchuk O. (2016).** Applicability of alkaliactivated cement for immobilization of lowlevel radioactive waste in ion-exchange resins. *Eastern European Journal of*

Enterprise Technologies. 1(6). 40 – 45.
doi: 10.15587/1729-4061.2016.59489
20. **Krivenko P., Kovalchuk O., Pasko A.**
(2017). Utilization of industrial waste water

treatment residues in alkali activated cement and concretes. *Key Engineering materials*. 761. 35 – 38.
doi: 10.4028/www.scientific.net/kem.761.35

Ferrit cleaning of waste water from zinc ions: influence of aeration rate

Bogdan Yemchura, Gennadii Kochetov, Dmitry Samchenko

Abstract. The current work is devoted to development and improvement of integrated water treatment technologies, which provide both high efficiency removal of contaminants with small level of resource consumption. The influence of air flow on the process of ferrite treatment for concentrated zinc-containing wastewater of galvanic facilities has been investigated. The dependence of the efficiency of heavy metal ions extraction on aeration rate was determined. The most effective results of wastewater treatment are achieved at small values of aeration rate. The efficiency of removal for ferrum ion has reverse dependence and increases with growing of air flow. The influence of the oxidant amount on the structure of sediments after ferritization treatment has been studied. The sediments are chemically stable, have a dense crystalline structure and ferromagnetic properties. On the basis of experimental researches, the best aeration rate for the ferritization process has been determined, which allows to rational use of electric energy in the technological scheme of ferritization process. The directions of further researches for wastewater treatment of zinc galvanic lines are to achieve of maintenance for all necessary parameters of water quality for closed circuit water supply systems.

Key words: ferritisation; wastewater treatment; aeration; sediments; zink compounds.

Стаття надійшла до редакції 10.12.2018