

Г.М.КОЧЕТОВ, доктор технічних наук

Д.М. САМЧЕНКО, аспірант

Київський національний університет будівництва і архітектури

Л.І. ПОТАПЕНКО, кандидат технічних наук

Київський національний університет ім. Тараса Шевченка

ДОСЛІДЖЕННЯ КІНЕТИКИ ФЕРИТНОЇ ОЧИСТКИ СТИЧНИХ ВОД ГАЛЬВАНІЧНИХ ВИРОБНИЦТВ

Представлено результати досліджень кінетики процесу феритизації концентрованих стічних вод, які містять сполуки нікелю. Побудована регресійна модель та запропонований алгоритм розрахунку зміни концентрації іонів важких металів у часі.

Ключові слова: очистка води, кінетика, феритизація, математична модель, нікель.

Представлены результаты исследований кинетики процесса ферритизации концентрированных сточных вод, содержащих соединения никеля. Построена регрессионная модель и предложен алгоритм расчета изменения концентрации ионов тяжелых металлов во времени.

Ключевые слова: очистка воды, ферритизация, кинетика, математическая модель, никель.

Results of kinetic studies for ferritisation process of concentrated wastewater treatment nickel-containing compounds are presented. Regression model and algorithm for calculation for changes of heavy metals' concentrations in time are proposed.

Key words: wastewater treatment, kinetics, ferritisation, mathematical model, nickel.

Стічні води гальванічних виробництв відносяться до найбільш розповсюджених антропогенних забруднювачів навколишнього середовища. Тому підвищення екобезпеки за рахунок впровадження високоефективного обладнання для очистки стічних вод, розробки маловідходних енергоефективних технологій із замкненими системами ресурсообігу є пріоритетним напрямком розвитку сучасної вітчизняної гальванотехніки [1].

На наш погляд, найбільш перспективним для очистки стічних вод, які одночасно містять сполуки нікелю і заліза, є метод феритизації. В літературі наведені чисельні результати досліджень очищення промислових стічних вод феритизацією [2-6]. Їх аналіз вказує на те, що поряд з беззаперечними перевагами цей процес має і певний недолік: він досить енергоємний, оскільки потребує термічної обробки стічних вод або згущених осадів при

температурі вище 60°C. Нами розроблена технологія із застосуванням в процесі феритизації електромагнітних імпульсних розрядів, які розглядаються альтернативною високотемпературній активації водних розчинів. Крім того, експериментальні дані з вивчення перебігу процесу феритизації при електромагнітній імпульсній активації води в літературних джерелах вкрай обмежені.

З огляду на вище зазначене, нами були проведені експериментальні дослідження кінетики феритизації в процесі очистки відпрацьованого електроліту ванн нікелювання одного з потужних промислових підприємств м. Києва з використанням термічної та електромагнітної імпульсної активації процесу.

Для зручності інтерпретації експериментальних даних феритизаційного процесу їх доцільно представити у вигляді деякої функції, використовуючи регресійну модель.

Тому, **метою цієї роботи** є математична обробка експериментальних даних кінетики очистки стічних вод від сполук нікелю з використанням різних способів активації процесу феритизації.

Результати наших досліджень процесу очистки стічної води з вихідною концентраціями ($C_{\text{вих.}}$) важких металів, які наведені в табл. 1, вказують що з часом (τ) відбувається поступове зниження у воді залишкової концентрації ($C_{\text{зал.}}$), нікелю, а відповідна для заліза при цьому навпаки збільшується. Нами були запропоновані раціональні умови проведення процесу феритної очистки стічної води, яка містять сполуки нікелю, для забезпечення нормативних вимог для її скиду в каналізацію. При цьому стічні води не потребують додаткової обробки.

Таблиця 1

Результати дослідів з феритної очистки виробничих стічних вод

№ п/п	τ , хв.	Важкі метали	$C_{\text{вих.}}$, мг/дм ³	$C_{\text{зал.}}$, мг/дм ³	
				Спосіб активації процесу феритизації	
				Термічний	Електромагнітний імпульсний
1	5	Fe	14380	0,14	0,11
		Ni	7190	0,74	0,55
2	10	Fe	14380	0,21	0,14
		Ni	7190	0,59	0,51
3	15	Fe	14380	0,26	0,17
		Ni	7190	0,52	0,49
4	20	Fe	14380	0,25	0,16
		Ni	7190	0,51	0,48
5	25	Fe	14380	0,23	0,14
		Ni	7190	0,52	0,48

Для математичної обробки даних доцільно побудувати регресійну модель, яка пов'язує залишкову концентрацію іонів нікелю з часом проходження процесу феритизації при різних способах активації стічної води. Вид рівняння регресії, який найбільш адекватно описує цю залежність, вибраний з класу дрібно-раціональних функцій [7]:

$$\Delta C_{\text{зал.}} = \frac{t}{a + b \cdot t'} \quad (1)$$

де $\Delta C_{\text{зал.}}$ – значення залишкових концентрації іонів нікелю, мг/дм³; a, b – коефіцієнти моделі (табл. 2); t – час проходження процесу феритизації, хв.

Для знаходження коефіцієнтів a та b використовуємо метод найменших квадратів.

Вводимо змінну y за формулою:

$$y = \frac{1}{\Delta C_{\text{зал.}}} = \frac{a + b \cdot t}{t} \quad (2)$$

Та розглядаємо функцію:

$$F(a, b) = \sum_{i=1}^n \left(\frac{a + bt_i}{t_i} - y_i \right)^2 \quad (3)$$

де n – кількість експериментальних точок t_i ;

$y_i = \frac{1}{(\Delta C_{\text{зал.}})_i}$, ($i = 1, 2, \dots, n$) – значення отримане в результаті експерименту.

Коефіцієнти a і b визначаються з умови мінімуму функції (3).

Для цього знаходимо похідні $\frac{\partial F}{\partial a}$ і $\frac{\partial F}{\partial b}$ та прирівнюємо їх до нуля:

$$\frac{\partial F}{\partial a} = 2 \sum_{i=1}^n \left(\frac{a + bt_i}{t_i} - y_i \right) \frac{1}{t_i} = 2 \sum_{i=1}^n \left(\frac{a + bt_i - y_i t_i}{t_i^2} \right) = 0, \quad (4)$$

$$\frac{\partial F}{\partial b} = 2 \sum_{i=1}^n \left(\frac{a + bt_i}{t_i} - y_i \right) = 2 \sum_{i=1}^n \left(\frac{a + bt_i - y_i t_i}{t_i} \right) = 0 \quad (5)$$

В результаті отримуємо систему рівнянь щодо a і b :

$$\begin{cases} a \sum_{i=1}^n \frac{1}{t_i^2} + b \sum_{i=1}^n \frac{1}{t_i} = \sum_{i=1}^n \frac{y_i}{t_i}; \\ b \sum_{i=1}^n \frac{1}{t_i} + nb = \sum_{i=1}^n y_i; \end{cases} \quad (6)$$

Розв'язуючи систему (6), знаходимо a і b :

$$a = \frac{n \sum_{i=1}^n \frac{y_i}{t_i} - \sum_{i=1}^n y_i \sum_{i=1}^n \frac{1}{t_i}}{n \sum_{i=1}^n \frac{1}{t_i^2} - \left(\sum_{i=1}^n \frac{1}{t_i} \right)^2}, \quad (7)$$

$$b = \frac{\sum_{i=1}^n y_i \sum_{i=1}^n \frac{1}{t_i^2} - \sum_{i=1}^n \frac{y_i}{t_i} \sum_{i=1}^n \frac{1}{t_i}}{n \sum_{i=1}^n \frac{1}{t_i^2} - \left(\sum_{i=1}^n \frac{1}{t_i} \right)^2} \quad (8)$$

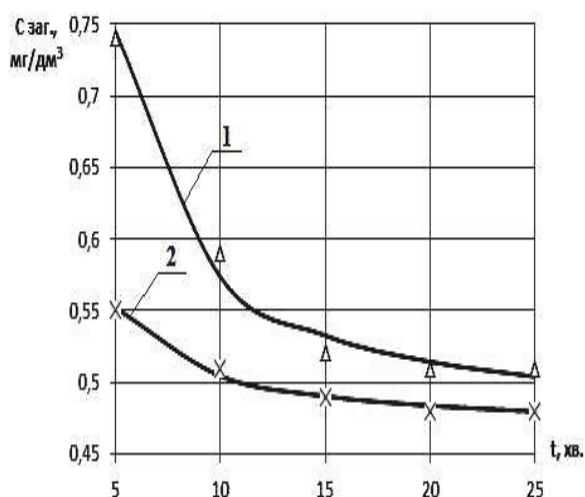
Аналогічна модель розроблена нами також і для кінетики видалення із стічних вод іонів заліза.

Під час комп'ютерної реалізації запропонованої нами математичної моделі з використанням програми лінійного пакету "Microsoft Excel 14.0" та після проведення лінеарізуючих перетворень функції (1) за методом найменших квадратів були розраховані коефіцієнти цієї моделі (табл. 2) і побудовані графіки залежності залишкових концентрацій іонів важких металів від часу обробки стічної води при різних способах активації феритного процесу (рис. 1).

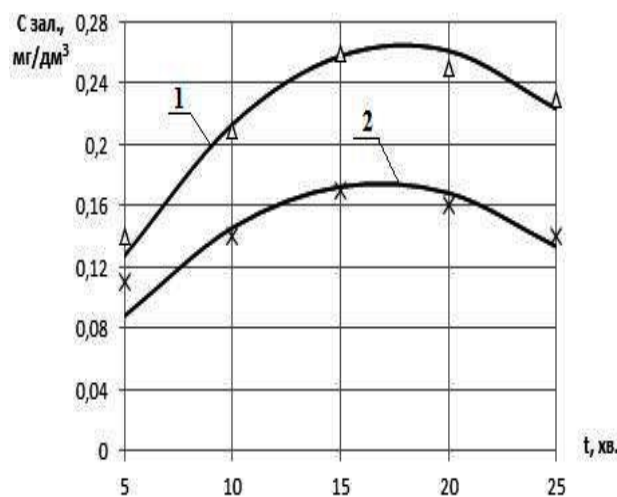
Таблиця 2

Коефіцієнти математичної моделі для розрахунку кінетики процесу очищення стічної води від важких металів

Коефіцієнт и моделі	$\Delta C_{\text{зал.}}, \text{ мг/дм}^3$			
	Спосіб активації процесу феритизації			
	Термічний		Електромагнітний імпульсний	
	Ni	Fe	Ni	Fe
<i>a</i>	-4,01526	0,02956	-1,71224	0,02077
<i>b</i>	2,14491	-0,00082	2,51367	-0,0062



а)



б)

Рис. 1. Розрахунок залишкових концентрації іонів нікелю (а) та заліза (б) від часу проведення процесу феритизації при: 1 – термічній, 2 – електромагнітній імпульсній активації (Δ, x – експериментальні дані)

Як видно з рис. 1, розрахункові кінетичні криві добре узгоджуються з даними, які отримані експериментально. Це є підтвердженням коректності запропонованої нами математичної моделі.

Висновок. Розроблені регресійні моделі кінетики процесу феритизації доводять, що час перебігу процесу очистки впливає на ефективність вилучення іонів важких металів, а врахування різних способів активації феритизаційного процесу дозволяє своєчасно здійснювати оперативні дії, що забезпечують якість очищення стічних вод і доведення показників обробленої води до вимог нормативних документів. Запропонований алгоритм розрахунку надає можливість автоматизованого визначення оцінки ефективної роботи ферит-реактора, зокрема, необхідного часу перебігу процесу феритизації, а отже суттєво підвищити економічність очищення стічних вод.

Список літератури

1. *Доллина Л.Ф.* Современная техника и технологии для очистки сточных вод от солей тяжелых металлов: Монография. – Дн-вск.: Континент, 2008. – 254 с.
2. *Тугай А.М., Кочетов Г.М., Самченко Д.М.* Вивчення стійкості відходів очищення стічних вод, які містять сполуки міді // Проблеми водопостачання, водовідведення та гідравліки: Наук.-техн. зб. – К., 2012. – Вип.20. – С. 66-70.
3. *Mandaokar S. S., Dharmadhikar D. M., Dara L. S.* (1994) Retrieval of heavy metal ion sfrom solution ferritisation // Environmental Pollution [Text]. – Volume 83. – P.277-282.
4. *Кочетов Г.М., Самченко Д.М.* Комплексная очистка никельсодержащих сточных вод с использованием метода ферритизации // Вода Magazine. – М., 2015. – Вип. №3. – С.20-26.
5. *Tamura J., Katsura T., Rojarayanont S.* Ferriteprocess: heavy metalions treatment system [Text] // Water Sci. Technol., 1991– 23. – P. 399-404.
6. *Ковалева О.В.* Комбинированная очистка многокомпонентных сточных вод: высокотемпературная гидротермическая ферритизация осадков // Studiauniversitatis. Seria Ştiinţele naturii, 2012. – 6(56). – P.55-64.
7. *Браневицкая С.В.* Вычислительная математика в химии и химической технологии / С.В. Браневицкая, Р.Б. Медведев, Ю.Я. Фиалков. – К.: Вища школа, 1986. – 216 с.

Надійшло до редакції 16.03.2016