

## ОЧИЩЕННЯ КОНЦЕНТРОВАНИХ СТИЧНИХ ВОД ВИРОБНИЦТВА ДРУКОВАНИХ ПЛАТ ВІД ІОНІВ МІДІ

Олена Зоря<sup>1</sup>, Олексій Терновцев<sup>2</sup>, Дмитро Зоря<sup>3</sup>

<sup>1,2</sup>Київський національний університет будівництва і архітектури  
31, пр. Повітрофлотський, м. Київ, Україна, 03037

<sup>1</sup>канд. тех. наук, доцент, zoria.ov@knuba.edu.ua, orcid.org/0000-0002-4878-5164

<sup>2</sup>канд. тех. наук, доцент, ternovtsev.ov@knuba.edu.ua, orcid.org/0000-0003-1761-2444

<sup>3</sup>канд. тех. наук, dzoryuha@gmail.com, orcid.org/0000-0002-9800-1364

DOI:10.32347/2524-0021.2021.35.11-20

**Анотація.** У сучасних умовах актуальним є створення комплексної технології переробки стічних вод, які містять сполуки міді, з утилізацією коштовного металу, організації оборотного водопостачання підприємства і отримання безпечних для утилізації осадів. Розглядаються методи очищення стічних вод гальванічних виробництв.

Приведено результати експериментальних досліджень процесу вилучення з води міді цементацією на частинках залізного порошку в статичних умовах. Наведено технологічну схему реактора-цементатора. Досліджено вплив різних факторів на процес цементації міді – рН, концентрація та співвідношення заліза і міді в реакційній суміші, час контакту. Визначено час, за яким спостерігається найбільша швидкість зміни залишкової концентрації міді. Також визначено вплив величини рН проходження процесу цементації. В результаті отриманих даних зроблено висновок, що концентрація іонів гідрогену в розчині впливає на протікання реакції контактного обміну. Чим вище кислотність розчину, тим вище інтенсивність відновлення міді. Окреслено перспективні напрями створення замкнених водооборотних систем в процесі очищення стічних вод лінії міднення.

**Ключові слова:** очищення стічних вод; мідь; залізний порошок; реактор – цементатор, цементация.

### ВСТУП

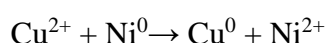
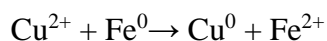
Розвиток промисловості в Україні супроводжується збільшенням токсичних відходів до складу яких входять стічні води із значною кількістю іонів важких металів, зокрема міді, а також твердих відходів (шламів). Існуючі технології або не дозволяють вилучати із шламів цінні компоненти, або їх вилучення є економічно недоцільним. Накопичення таких шламів на територіях виробництв становить небезпеку вторинному забрудненню навколишнього середовища [1].

В залежності від галузі виробництва стічні води, що містять сполуки міді, можна класифікувати на висококонцентровані (технологічні розчини) і розбавлені (промивні води) [2,3]. Стоки мають кислу або лужну реакцію рН, за хімічним складом можуть вміщувати, окрім сполук міді і більш токсичні речовини – ціаніди, хром  $b^+$ , органічні речовини та ПАА.

Аналіз сучасного стану технологій очистки промислових стічних вод показав, що існуючі різноманітні технологічні схеми по типу хімічних реакцій можна поділити на гетерофазні (іонний обмін, адсорбція) і гомофазні (електродіаліз,

зворотній осмос) [4,5]. Хімічні реакції при електрокоагуляції можуть бути віднесені до гетерофазних [6]. Кожен з методів має свої позитивні і негативні риси і може бути рекомендованим до використання за певних умов.

Метод електролізу при великих витратах електроенергії не дозволяє отримати високий ефект очистки води [7]. Іонний обмін, електродіаліз і зворотній осмос дозволяють не тільки очистити воду до вимог ГДК, але і практично повністю повернути її у виробництво [8]. Реагентний метод обов'язково використовується як попередня очистка в разі застосування цих методів [9]. Суттєвий недолік вищезначених методів – висока вартість, значні виробничі площі, енерговитрати і велика кількість твердих відходів, проблема переробки яких не вирішена [10,11]. Для очистки висококонцентрованих мідних розчинів використовують метод цементації міді на залізному скрапі або нікелевому піску [12]. В кислому середовищі мідь виділяється на залізі або нікелі у вигляді металевого порошку, а замість неї в розчин переходять катіони заліза або нікелю [13].



Виділення міді, що відділяється від основи, проводять або вібрацією, або обертанням робочої камери в об'ємі розчину, що обробляється [14].

Простота і економічність очищення води методом цементації досягається за рахунок використання відходів виробництва (залізного скрапу або нікелевого порошку) замість коштовних реагентів. Недолік методу цементації – низька швидкість очистки води від міді, складність відокремлення вилученої металеві міді від залізного скрапу і високий вміст іонів заліза в розчині, пропорційний кількості вилученої міді не дозволяє широко використовувати його у виробництві [15].

## МЕТА І ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ

Метою дослідження є вдосконалити метод цементації для отримання металеві міді з висококонцентрованих виробничих розчинів та визначити основні технологічні параметри процесу, дослідити процес контактного відновлення міді з розчинів її солей і встановити умови ефективного виділення металеві міді в статичних умовах.

## МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

В процесі виготовлення друкованих плат стічні води, що містять мідь, утворюються переважно під час травлення міді з прогалин. Такі води можна розподілити на два види – концентровані і розбавлені. До перших належать відпрацьовані розчини, що періодично скидаються, а другі – промивні стічні води, що утворюються після промивки друкованих плат та інших виробів після технологічних ванн в процесі виробництва.

Особливістю складу відпрацьованих травильних розчинів і промивних вод від травильних цехів є низька концентрація кислоти і висока концентрація іонів міді.

Якісні показники стічних вод гальванічного цеху ДП ВО «Київприлад» наведені в табл. 1.

В практиці очистки води відпрацьовані розчини ДП ВО «Київприлад» невеликими порціями перемішують з промивними водами і далі очищають шляхом нейтралізації лужним реагентом і осадженням гідроксидів. Таким чином значення гранично – допустимої концентрації по ХПК – 500 мг О<sub>2</sub>/л досягають розведенням, а ГДК по іншим забрудненням значно більше.

Досліди проводились на модельних розчинах, приготовлених із солей марки х.ч. та ч.д.а. на бідистильованій воді та на реальних відпрацьованих розчинах ДП ВО «Київприлад». В якості модельних систем використовували розчини з концентрацією металів Cu і Fe в діапазоні від 50 до 100 г/дм<sup>3</sup>.

**Табл. 1.** Характеристика відпрацьованих розчинів  
**Table 1.** Characterization of waste solutions

Назва розчину	Кількість	Склад забруднень	
		Вид	Вміст, г/л
1	2	3	4
Лужне травлення міді	1,0 м <sup>3</sup> /добу	CuCl <sub>2</sub> NH <sub>4</sub> OH	110-230 400-500
Кисле травлення міді	1,0 м <sup>3</sup> /добу	CuCl <sub>2</sub> HCl	220-450 50-120
Проява фоторезисту	2,5 м <sup>3</sup> /міс	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> органічні речовини	20-25 50-60 (ХПК)
Зняття фоторезисту	3,5 м <sup>3</sup> /міс	NaOH органічні речовини	100 20-35 (ХПК)
Хімічне міднення	6,0 м <sup>3</sup> /міс	CuSO <sub>4</sub> К-Na-вапно-кислий NaOH Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	30-40 160-190 30-60 30-40
Гальванічне міднення	1,8 м <sup>3</sup> в 1-2 роки	CuSO <sub>4</sub> H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	200-250 50-80
Електроліт станум -плюм-бум	8,0 м <sup>3</sup> в 1-2 роки	SnBF <sub>4</sub> PbBF <sub>4</sub> HFBO <sub>4</sub>	25-30 15-20 25-100
Миючий розчин	1,0 м <sup>3</sup> /міс	ПАВ	20-30 (ХПК)
Вода захисного екрану лако-фарбної ділянки	2,0 м <sup>3</sup> /міс	органічні речовини	7-10 (ХПК)

Досліди проводились на модельних розчинах, приготовлених із солей марки х.ч. та ч.д.а. на бідистильованій воді та на реальних відпрацьованих розчинах ДП ВО «Київприлад». В якості модельних систем використовували розчини з концентрацією металів Cu і Fe в діапазоні від 50 до 100 г/дм<sup>3</sup>.

Необхідні значення рН в модельних розчинах отримували підкисленням або підлужуванням за допомогою розчинів

сірчаної кислоти або гідроксиду натрію за показниками іоніміру HQ40D (США). Отримані розчини Cu<sup>2+</sup> і Fe<sup>2+</sup> мали сірий та зелено-жовтий кольори відповідно.

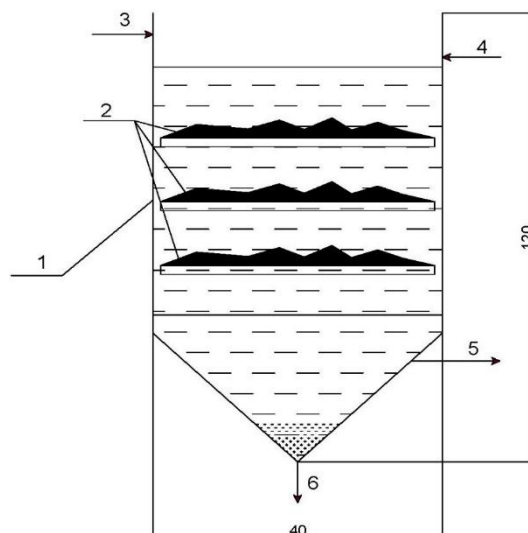
Вивчення вилучення з води міді в статичних умовах проводились в процесі її цементації на частинках залізного порошку (табл.2). Залізний порошок у вигляді частинок крупністю 0,5...0,7 мм розташовувався на тканинній підкладці в розчині, що містить мідь.

**Табл. 2.** Характеристики залізного порошку  
**Table 2.** Characteristics of iron powder

Марка	Залізо	Масова доля, % не більше				
		вуглецю	кремнію	марганцю	сірки	фосфору
ПЖРВ	Основа 99%	0,02	0,05	0,15	0,015	0,015
Клас крупності (розміри часток) мкм	Насипна щільність, г/см <sup>3</sup>	Щільність г/см <sup>3</sup> при тиску	Щільність пресовок, н/мм <sup>2</sup> , не менше	Текучість с/г не більше		
≤200	2,7-2,9	7,05	14	34		

Враховуємо, що процес розчинення відбувається з поверхні, а реактор виконано у вигляді колонки з рядом полиць, на яких розташовано залізний порошок, оцінювали ефективність розчинення з урахуванням загальної поверхні частинок. Площа поверхні частинок складала

$1,13 \text{ мм}^2$ , частинки укладено шаром товщиною  $1 \dots 2 \text{ мм}$  і їх площа при розмірах колонки  $40 \times 40 \text{ мм}$  (в плані) складає  $9224 \text{ мм}^2$  ( $92 \text{ см}^2$ ). При кількості шарів – 3, загальна площа залізних частинок складає  $246 \text{ см}^2$ . Загальні розміри колонки  $4 \times 4 \times 12 \text{ см}$  (рис.1).



**Рис. 1.** Реактор-цементатор:

1 – корпус; 2 – полиці з залізним порошком; 3 – подача вихідної води; 4 – подача свіжої порції залізного порошку; 5 – відвід очищеної води; 6 – скид металевої міді.

**Fig. 1.** Reactor-cementator:

1 – case; 2 – shelves with iron powder; 3 – supply of source water; 4 – supply of a fresh portion of iron powder; 5 – drainage of purified water; 6 – discharge of metallic copper.

Методика проведення експерименту по вивченню процесу вилучення міді з концентрованих стічних вод при використанні залізного порошку обумовлена задачею досліджень. В процесі досліджень склад стічних вод, що містять сполуки міді, залишався постійним, змінювалась лише концентрація міді. Об'єм води в реакторі не змінювався на всіх етапах досліджень. Кількість металевого порошку по масі під час проведення дослідів залишалась незмінною.

Ефект очистки визначали по зміні концентрації міді, яка міститься в стічних водах або визначали масу металевих часток міді, що виділилась. Для визначення маси міді, що виділилась, використовували аналітичні ваги *Axis AD 100* (Польща). Перед зважуванням металеву мідь п'ятикратно промивали бідистильованою водою для відмивання інших солей,

висушували в сушильній шафі при температурі  $80 \text{ }^\circ\text{C}$  до постійної ваги і охолоджували до кімнатної температури. Концентрацію іонів міді в розчині визначали на спектрофотометрі *DR 3900 Nach* (США).

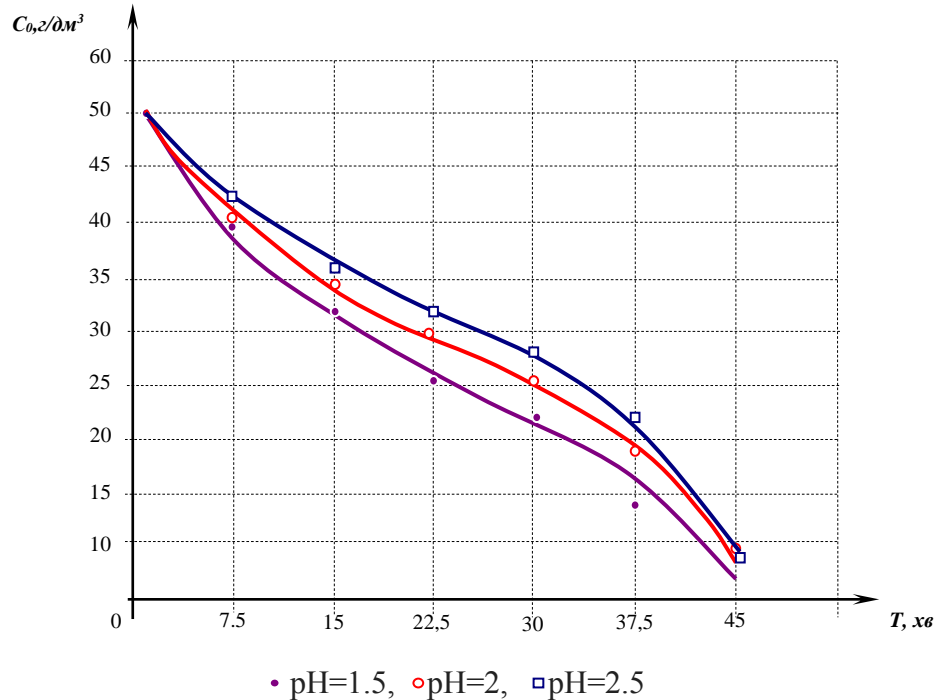
## ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ

При вихідній концентрації міді  $50 \text{ г/дм}^3$  ефект очищення з часом в проміжку  $0 \dots 45 \text{ хв}$  збільшується відповідно з  $33,2 \%$  до  $91,2 \%$  нелінійно. Найбільша швидкість зміни залишкової концентрації міді спостерігається за перші  $7,5 \text{ хв.}$ , та в межах  $32 \dots 45 \text{ хв.}$

Зміну концентрації міді в залежності від рН проходження процесу цементації на частинках заліза приведено на рис. 2. Із зменшенням величини рН суттєво зростає швидкість розчинення заліза. Відповідно збільшується площа поверхні, що

вкрита міддю, при досягненні певної площі, швидкість процесу відновлення уповільнюється за умови відсутності перемішування розчину. В результаті аналізу отриманих даних можна зробити висновки що, концентрація іонів гідрогену

в розчині впливає на протікання реакції контактного обміну. Іони міді відновлюється до металевого порошку, а в розчин переходять іони заліза (II). При цьому встановлено, що продовження процесу після 45 хвилин часу є недоцільним .



**Рис. 2.** Графік зміни концентрації міді в залежності від рН в процесі цементації  
**Fig. 2.** Graph of changes in copper concentration depending on pH during cementation

Кінетичні криві, які представлені на рис. 3, свідчать про те, що при вхідній концентрації міді більше 50 г/дм<sup>3</sup> знижується перенапруга її виділення і зростає швидкість катодної реакції. При концентраціях міді більше 90 г/дм<sup>3</sup> реакція відновлення гідрогену відсутня. Виділення газоподібного гідрогену можна спостерігати тільки після відновлення не менше 50% міді.

При зануренні залізної пластинки в лужний електроліт відновлення міді не відбувається, тому що мідь присутня у розчині у вигляді комплексних сполук. Контактний обмін відбувається тільки при значеннях рН менше 5,3, коли зруйновано комплекси і гідроксид міді розчинений [16]. При цьому кислотність розчину достатня для розчинення заліза. Чим

вище кислотність розчину, тим вище інтенсивність відновлення міді.

В таблиці 3 приведено зміну вмісту міді в процесі цементації на частинках заліза. Вода, що містить мідь, представлена розчином CuCl<sub>2</sub> з концентрацією міді 15 г/дм<sup>3</sup>, рН = 1,5. Температура розчину 20 °С. Об'єм розчину, що містить мідь, складає 160 см<sup>3</sup>, а загальна кількість залізних частинок – 95 г.

Зміну кількості міді в розчині в залежності від часу приведено у вигляді графіку на рис. 5.

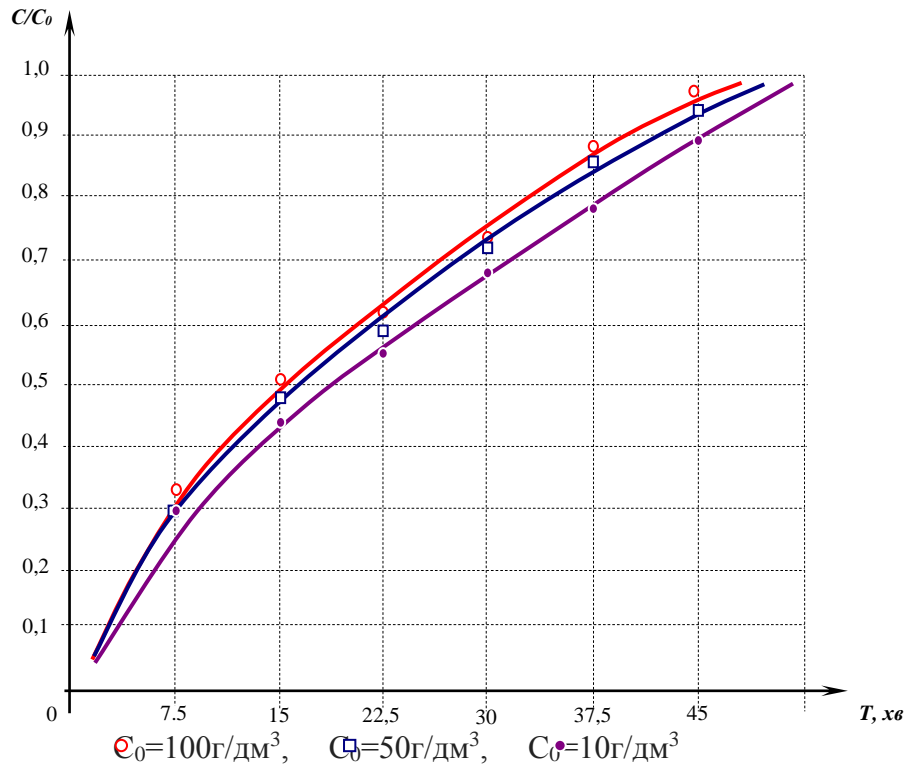


Рис. 3. Ефект очистки води методом цементації в залежності від вихідної концентрації міді  
 Fig. 3. Effect of water treatment by grouting depending on the initial concentration of copper

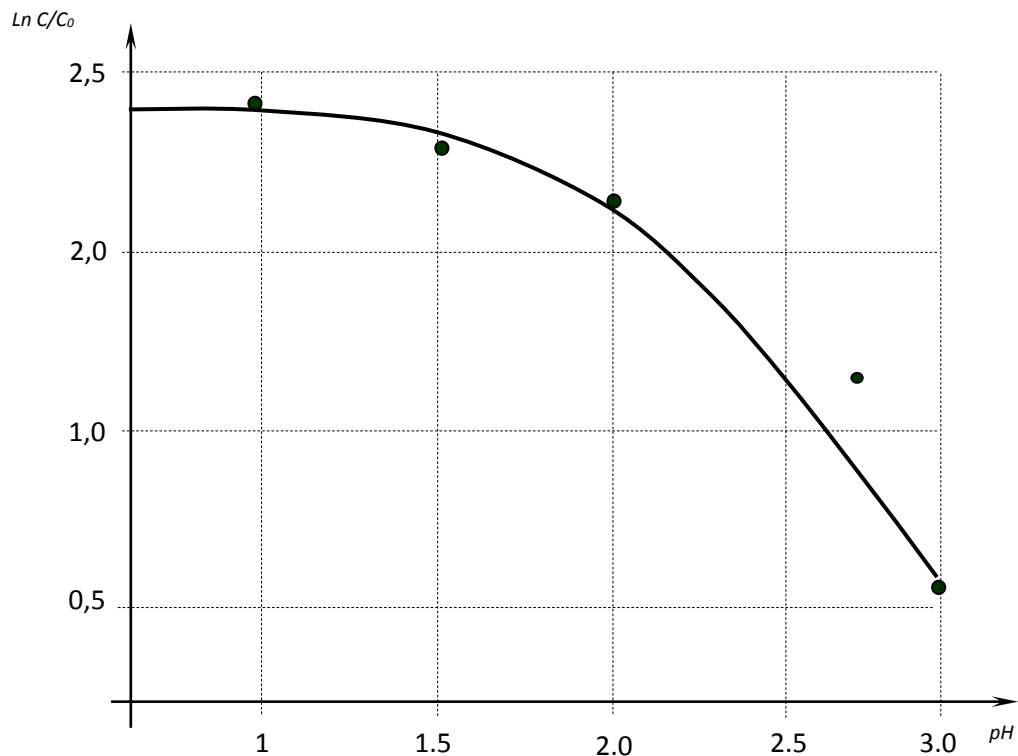


Рис. 4. Вплив величини pH на проходження процесу цементації  
 Fig.4. The influence of pH on the cementation process

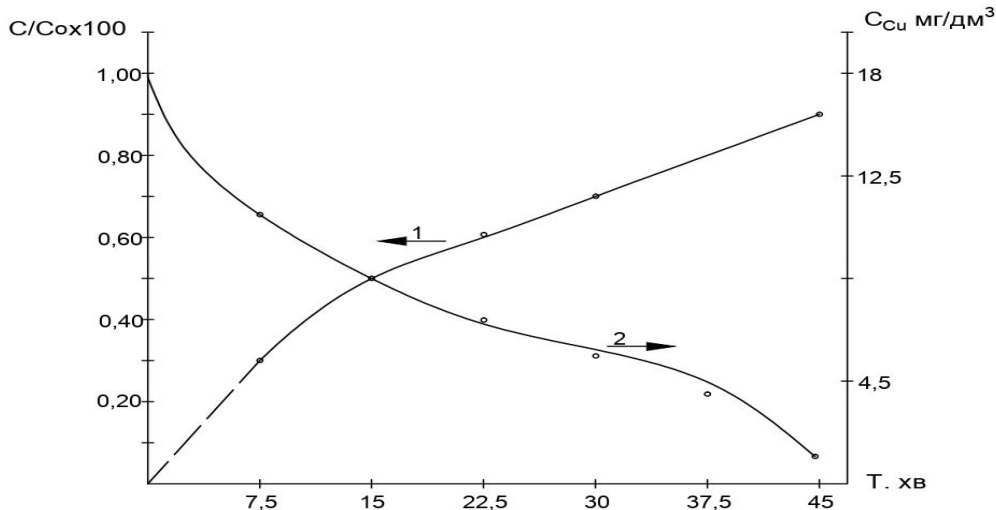
**Табл. 3.** Зміна вмісту міді в розчині в процесі цементації  
**Table 3.** Change in the copper content in the solution during cementation

№	Час дослід, хв	Вміст міді в розчині, г/см <sup>3</sup>	Зменшення кількості міді в розчині, г/см <sup>3</sup>	Ефект очистки $C/C_0 \cdot 100\%$	Кількість міді, що випала, г
1	2	3	4	5	6
1	7,5	$12,02 \cdot 10^{-3}$	$5,98 \cdot 10^{-3}$	33,2	$95,0 \cdot 10^{-3}$
2		$12,10 \cdot 10^{-3}$	$5,90 \cdot 10^{-3}$	32,9	$94,0 \cdot 10^{-3}$
3		$11,97 \cdot 10^{-3}$	$6,03 \cdot 10^{-3}$	33,5	$110,0 \cdot 10^{-3}$
4		$12,04 \cdot 10^{-3}$	$5,96 \cdot 10^{-3}$	33,1	$110,0 \cdot 10^{-3}$
5	15	$8,75 \cdot 10^{-3}$	$9,25 \cdot 10^{-3}$	51,4	$148 \cdot 10^{-3}$
6		$8,67 \cdot 10^{-3}$	$9,33 \cdot 10^{-3}$	51,8	$167 \cdot 10^{-3}$
7		$8,61 \cdot 10^{-3}$	$9,33 \cdot 10^{-3}$	52,2	$169 \cdot 10^{-3}$
8		$8,56 \cdot 10^{-3}$	$9,44 \cdot 10^{-3}$	52,4	$151 \cdot 10^{-3}$
9	22,5	$8,40 \cdot 10^{-3}$	$9,60 \cdot 10^{-3}$	63,3	$152 \cdot 10^{-3}$
10		$8,37 \cdot 10^{-3}$	$9,63 \cdot 10^{-3}$	63,5	$164 \cdot 10^{-3}$
11		$8,28 \cdot 10^{-3}$	$9,72 \cdot 10^{-3}$	64,0	$159 \cdot 10^{-3}$
12		$8,35 \cdot 10^{-3}$	$9,65 \cdot 10^{-3}$	63,6	$153 \cdot 10^{-3}$
13	30	$4,86 \cdot 10^{-3}$	$13,14 \cdot 10^{-3}$	73,0	$210 \cdot 10^{-3}$
14		$4,75 \cdot 10^{-3}$	$13,85 \cdot 10^{-3}$	73,6	$205 \cdot 10^{-3}$
15		$4,86 \cdot 10^{-3}$	$13,19 \cdot 10^{-3}$	73,4	$208 \cdot 10^{-3}$
16		$4,39 \cdot 10^{-3}$	$13,11 \cdot 10^{-3}$	72,8	$212 \cdot 10^{-3}$
17	37,5	$3,06 \cdot 10^{-3}$	$14,94 \cdot 10^{-3}$	83,0	$222 \cdot 10^{-3}$
18		$2,41 \cdot 10^{-3}$	$15,51 \cdot 10^{-3}$	86,4	$227 \cdot 10^{-3}$
19		$2,93 \cdot 10^{-3}$	$15,07 \cdot 10^{-3}$	83,7	$224 \cdot 10^{-3}$
20		$2,66 \cdot 10^{-3}$	$15,34 \cdot 10^{-3}$	85,2	$226 \cdot 10^{-3}$
21	45	$1,54 \cdot 10^{-3}$	$16,46 \cdot 10^{-3}$	82,4	$265 \cdot 10^{-3}$
22		$19,8 \cdot 10^{-3}$	$16,02 \cdot 10^{-3}$	88,3	$256 \cdot 10^{-3}$
23		$1,90 \cdot 10^{-3}$	$16,10 \cdot 10^{-3}$	89,4	$258 \cdot 10^{-3}$
24		$1,50 \cdot 10^{-3}$	$16,50 \cdot 10^{-3}$	91,2	$261 \cdot 10^{-3}$

### ВИСНОВКИ

Проведені експериментальні дослідження очищення концентрованих розчинів від іонів міді цементацією в статичних умовах дозволили визначити зміну основних технологічних параметрів процесу (концентрації міді, рН, властивості завантаження реактора-цементатора, час контакту). Найбільш доцільним є

видалення міді шляхом її відновлення до металу цементацією на металевому порошку. Представлена схема реактора – цементатора і використання в якості завантаження замість залізного скрапу металевого порошку спрощують процес відокремлення металеві міді і можливість її подальшого використання у вигляді товарного продукту - мідного порошку. Ефект очистки розчину по міді складає 98-99%.



**Рис. 5.** Ефективність очищення води від міді  $C/C_0$  і зміна вмісту міді  $C_{Cu}$  в розчині від часу  
**Fig. 5.** The efficiency of water purification from copper  $C/C_0$  and change in copper content  $C_{Cu}$  in the solution on time

#### ЛІТЕРАТУРА

1. **Василенко О. А., Терновцев В. О., Василенко Л. О., Зоря О. В., Сіхарулідзе С. Л.** Сучасні технології очищення стічних вод. К.: ДППК МінЕкобезпеки України, 1998. 62 с.
2. **Вайнштейн И. А.** Очищення і використання стічних вод травильних відділень. М.: Металлургия, 1986. 110 с.
3. **Кульський Л. А., Слипченко В. А., Сайгак Е. И.** Очищення води електрокоагуляцією. К.: Будівельник, 1978. 112 с.
4. **Бучило Э. К.** Очищення стічних вод травильного і гальванічного відділень. М.: Металлургия, 1980. 198 с.
5. **Алферова Л. А., Нечаев А. П.** Замкнуті системи водного господарства промислових підприємств, комплексів і районів. М.: Стройиздат, 1984. 272 с.
6. **Забулонский И. А.** Обезвреживание отработанных растворов производства печатных плат с утилизацией отходов: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.23.04 / КІБІ. К., 1993. 20 с.
7. **Запольский А. Н.** Очищення стічних вод гальванічних покриттів. К.: Техника, 1975. 290 с.
8. **Евдокимов Н. А., Макаров В. М.** Утилізація мідьсодержащих отработанных травильных растворов. // Экология и промышленность России, 2005, 1. С. 28-29.
9. **Колегова А. С., Трохименко Г. Г., Гомеля М. Д.** Іонообмінне вилучення іонів міді, цинку та нікелю з стічних вод металоброблювальних підприємств // Матеріали VI Міжнародної науково-практичної конференції НТУ «КПІ ім. Сікорського» (Київ, 14-15 листопада 2019 р.). К., 2019. С. 120-123.
10. **Душкин С. С.** Інтенсифікація реагентних методів очищення води. К.: УМКВО, 1991. 168 с.
11. **Жуков А. И., Монгайт И. Л., Родзиллер И. Л.** Методи очищення промислових стічних вод. М.: Стройиздат, 1977. 208 с.
12. **Зоря О. В., Терновцев О. В., Зоря Д. І., Валері М.-І.** Вдосконалена ресурсощадна технологія очищення мідьвміщуючих стічних вод феритизацією // Шляхи підвищення ефективності будівництва в умовах формування ринкових відносин. 2019. Вип. 41 Технічний. С.123-130.
13. **Терновцев В. Е., Божко А.** Исследование реакторов, загруженных стальной стружкой для очистки сточных вод от меди // Сб. науч. работ ВИНТИ. 1985. Вип. 9. С. 9-11.
14. **Терновцев В. Е.** Технология очистки воды на основе оксидов железа: автореф. дис. ... д-ра. техн. наук: 05.23.04 / КІБІ. К., 1993. 36 с.
15. **Зоря Д. І.** Дослідження процесу очищення води цементизацією в статичних умовах в процесі її відновлення на частинках залізного порошку // Шляхи підвищення ефективності будівництва в умовах форму-



вання ринкових відносин, 2012, 28 (2). С. 39-44.

16. **Зоря Д. І.** Математична модель відновлення міді на сталевих частинках // Матеріали 74 науково-практичної конференції КНУБА (Київ, 14-16 квітня 2013 р.). К.: КНУБА, 2013. С.43.

17. **Терновцев В. Е., Божко А.** Извлечение меди из сточных вод печатных плат. Сб. науч.-торетич. конф-я сов. и польск. ученых. Киев, 1984. С.137-139.

#### REFERENCES

1. **Vasylenko, O. A., Ternovtsev, V. O., Vasylenko, L. O., Zoria, O. V., & Sikharulidze, S. L. (1998).** *Suchasni tekhnologii ochystky stichnykh vod.* Kyiv: DPPK MinEkobezpeky Ukrainy, 1998. [in Ukrainian]
2. **Vainshtein, Y. A. (1986).** *Ochistka i ispolzovanie stochnykh vod travilnykh odeleniy.* Moskva: Metallurhiya, 1986. [in Russian]
3. **Kulskiy, L. A., Slypchenko, V. A., & Saihak, E. Y. (1978).** *Ochistka vody elektrokoahuliatsiy.* Kiev: Budivelnik, 1978. [in Russian]
4. **Buchilo, E. K. (1980)** *Ochistka stochnykh vod travilnogo i galvanicheskogo odeleniy.* Moskva: Metallurgiya, 1980. [in Russian]
5. **Alferova, L. A., & Nechaev, A. P. (1984).** *Zamknutyie sistemy vodnoho khoziaistva promyshlennykh predpriyatiy, kompleksov i raionov.* Moskva: Stroyizdat. [in Russian]
6. **Zabulonskiy, Y. A. (1993).** *Obezvrezhyvanie otrabotannykh rastvorov proizvodstva pechatnykh plat s utilizatsiyei otkhodov.* Master's thesis. Retrieved from Kiev: KIBI. [in Russian]
7. **Zapolskiy, A. N. (1975).** *Ochistka stochnykh vod halvanicheskikh pokrytiy.* Kiev: Tekhnika, 1975. [in Russian]
8. **Evdokymov, N. A., & Makarov, V. M. (2005).** *Utilizatsiya medsoderzhashchykh otrabotannikh travylnykh rastvorov. Ekologiya i promyshlennost Rossiji, 1.* 28-29. [in Russian]
9. **Kolehova, A. S., Trokhymenko, H. H., & Homelia, M. D. (2019).** Ionoobminne

vyluchennia ioniv midi, tsynku ta nikeliu z stichnykh vod metaloobrobliuvalnykh pidpriemstv. *Materialy VI Mizhnarodnoyi naukovo-praktychnoyi konferentsiyi NTU «KPI im. Sikors'koho».* Kyiv, 14-15 lystopada 2019 r.). 120-123. [in Ukrainian]

10. **Dushkyn, S. S. (1991).** *Intensifikatsiya reagentnykh metodov ochistki vody.* Kiev: UMKVO. [in Russian]

11. **Zhukov, A. Y., Monhait, Y. L., & Rodzyller, Y. L. (1977).** *Metody ochistki proizvodstvennykh stochnykh vod.* M.: Stroyizdat. [in Russian]

12. **Zoria, O., Ternovtsev O., Zoria, D., & Valeri, M.-I. (2019).** Advanced resource-saving copper wastewater treatment by ferritization. Shliakhy pidvyshchennia efektyvnosti budivnytstva v umovakh formuvannia rynkovykh vidnosyn. *Ways to Improve Construction Efficiency, 41.* 123-130. [doi: 10.32347/2707-501x.2019.41.148-162](https://doi.org/10.32347/2707-501x.2019.41.148-162)

13. **Ternovtsev, V. E., & Bozhko, A. (1985).** *Issledovaniye reaktorov, zagruzhennykh stal'noy struzhkoy dlya ochistki stochnykh vod ot medi.* *Sb. nauch. rabot VINITI, 9.* 9-11. [in Russian]

14. **Ternovtsev, V. Ye. (1993).** *Tekhnologiya ochistki vody na osnove oksidov zheleza.* Doctoral dissertation. Retrieved from Kiev: KIBI. [in Russian]

15. **Zoria, D. I. (2012).** *Doslidzhennia protsesu ochyshchennia vody tsementatsiyeu v statychnykh umovakh v protsesi yii vidnovlennia na chastynkakh zaliznoho poroshku.* *Ways to Improve Construction Efficiency, 28 (2).* 39-44. [in Ukrainian]

16. **Zoria, D. I. (2013).** *Matematychna model vidnovlennia midi na stalevykh chastynkakh // Materialy 74 naukovo-praktychnoi konferentsii KNUBA.* Kyiv, 14-16 kvitnia 2013 roku. [in Ukrainian]

17. **Ternovtsev, V. E., & Bozhko, A. (1984).** *Izvlucheniye medi iz stochnykh vod pechatnykh plat.* *Sb. nauch.-toretich. konf-ya sov. i polsk. uchenykh.* Kiyev, 1984. 137-139. [in Russian]

## **Purification of concentrated waste water of pcb production from copper ions**

*Olena Zoria, Oleksiy Ternovtsev, Dmytro Zoria*

**Abstract.** In modern conditions, it is important to create a comprehensive technology for processing wastewater containing copper compounds, with the disposal of precious metals, the organization of circulating water supply of the enterprise and obtaining safe for disposal sludge. Methods of sewage treatment of galvanic productions are considered.

The results of experimental studies of the process of copper extraction from water by cementation on iron powder particles under static conditions are presented. The technological scheme of the reactor-cementator is given. The influence of various factors on the process of copper cementation – pH, concentration and ratio of iron and copper in the reaction mixture, contact time were studied. The time at which the greatest rate of change of residual copper concentration is observed is determined. The influence of the pH value of the cementation process was also determined. As a result of the obtained data, it is concluded that the concentration of hydrogen ions in the solution affects the course of the contact exchange reaction. The higher the acidity of the solution, the higher the recovery rate of copper. Promising directions for the creation of closed water circulation systems in the process of copper wastewater treatment are outlined.

**Key words:** wastewater treatment; copper; iron powder; reactor-cementator; cementation.

*Стаття надійшла до редакції 06.05.2021*