

М.Д. ГОМЕЛЯ, доктор технічних наук  
О.М. ТЕРЕЩЕНКО, кандидат технічних наук  
Є.В. МЕЛЬНИЧЕНКО, аспірант  
Національний технічний університет України «Київський політехнічний  
інститут імені Ігоря Сікорського»

## ОЧИСТКА СТИЧНИХ ВОД ВІД ІОНІВ МІДІ МЕТОДОМ КОМПЛЕКСООУТВОРЕННЯ ТА ФЛОКУЛЯЦІЇ

*Приведено результати досліджень по визначенню оптимальних умов застосування методів осадження для очистки стічних вод від важкого металу міді з використанням фероціаніда калію та водорозчинного поліелектроліту. Показано, що флокуляція забезпечує підвищення ступеню вилучення йонів міді для очистки стічних вод.*

**Ключові слова:** важкі метали, гексаціаноферат калія, флокуляція, мідь, комплексоутворення.

*Приведены результаты исследований по определению оптимальных условий применения методов осаждения для очистки сточных вод от тяжелого металла меди с использованием фероцианида калия и водорастворимого полиэлектролита. Показано, что флокуляция обеспечивает увеличения степени извлечения ионов меди при очистке сточных вод.*

**Ключевые слова:** тяжелые металлы, гексацианоферрат калия, флокуляция, медь, комплексообразование.

*The results of research on determination the optimal conditions application of the deposition methods for wastewater treatment from copper heavy metal using potassium ferrocyanides and water-soluble polyelectrolyte. It is shown that the flocculation provides an increase in the degree of extraction of copper ions from wastewater treatment.*

**Key words:** heavy metals, potassium ferrocyanide, flocculation, copper, complexation.

**Постановка задачі.** Проблема забруднення водних ресурсів є сьогодні досить актуальною у зв'язку з тривалим зростанням антропогенного навантаження на природне середовище. Висока забрудненість водних об'єктів токсичними речовинами вимагає прийняття негайних заходів по зниженню екологічного ризику, інакше водні ресурси планети можуть опинитися в катастрофічному стані.

Важкі метали відносяться до однієї з найбільш небезпечних груп речовин, що забруднюють біосферу. При попаданні йонів важких металів

найбільший збиток наноситься гідросфері, при цьому максимальне скидання у водойми (до 80%) забезпечують стічні води гальванічних виробництв [1,91]. Останні щорічно скидають неочищені або недостатньо очищені гальваностоки, які потрапляють у річки, озера та інші поверхневі водойми, завдаючи істотної шкоди гідробіонтам.

Аналіз літературних даних по методах очистки стічних вод (СВ) від іонів важких металів, зокрема міді, показав, що незважаючи на появу нових методів, технологій та матеріалів, реагентні технології залишаються затребуваними на ринку [2,120]. Вони більш дешеві і прості у виконанні, тому розвиток цього напрямку очистки залишається досить перспективним.

Традиційний реагентний метод очистки СВ від іонів важких металів передбачає використання сульфідів натрію. Проте, не вдається повністю подавити гідроліз сульфідів і попередити виділення сірководню навіть при підлогуванні розчинів. Крім того, відстоювання сульфідів міді не дає досить повного і надійного осадження сульфідів цього металу, оскільки утворюються колоїдні розчини.

Відомо, що фероціаніди важких металів мають дуже низьку розчинність [3,14], тому було запропоновано використати фероціанід калію як осаджувач для видалення йонів міді із досліджуваних розчинів.

Метою даної роботи є вивчення особливостей очистки СВ від важких металів методами осадження з використанням фероціаніду калію і водорозчинного поліелектроліту.

Суть експерименту полягала в наступному. Робочі розчини готували на водопровідній воді м. Києва при концентрації основних катіонів, мг/дм<sup>3</sup>: Na<sup>+</sup> – 19,8; K<sup>+</sup> – 4,4; Ca<sup>2+</sup> – 68,1; Mg<sup>2+</sup> – 11,2, а також на дистильованій воді. Концентрація доданого сульфату купруму (II) складала 5 мг/дм<sup>3</sup>, концентрації розчину фероціаніду калію знаходились у діапазоні від 1 до 15 мг/дм<sup>3</sup>. Проби перемішували, відстоювали протягом двох годин, фільтрували на фільтрі «синя стрічка» та вимірювали залишкові концентрації купруму (II). Результати представлені на рис. 1 і 2.

Як видно із рис. 1 залишкові концентрації міді значно перевищують рівні ГДК.

У той же час ступінь очистки модельних розчинів, приготованих на дистильованій воді (рис. 2, крива 1), зменшувалась зі збільшенням концентрації фероціаніду калію. Відомо, що надлишок [Fe(CN)<sub>6</sub>]<sup>4-</sup> сприяє утворенню стійких золів фероціанідів [4, 38]. Цей процес пояснюється адсорбцією високочарядних йонів [Fe(CN)<sub>6</sub>]<sup>4-</sup> на поверхні частинок золю, в результаті чого останні отримують негативний заряд, який перешкоджає коагуляції. При проведенні осадження міді із модельних розчинів, приготованих на водопровідній воді (рис.2, крива 2), було виявлено, що ступінь очистки практично не залежить від концентрації доданого реагенту, тобто збільшення солевмісту розчинів сприяло коагуляції колоїдних частинок фероціаніду міді, тим самим підвищувало ступінь очищення розчинів.

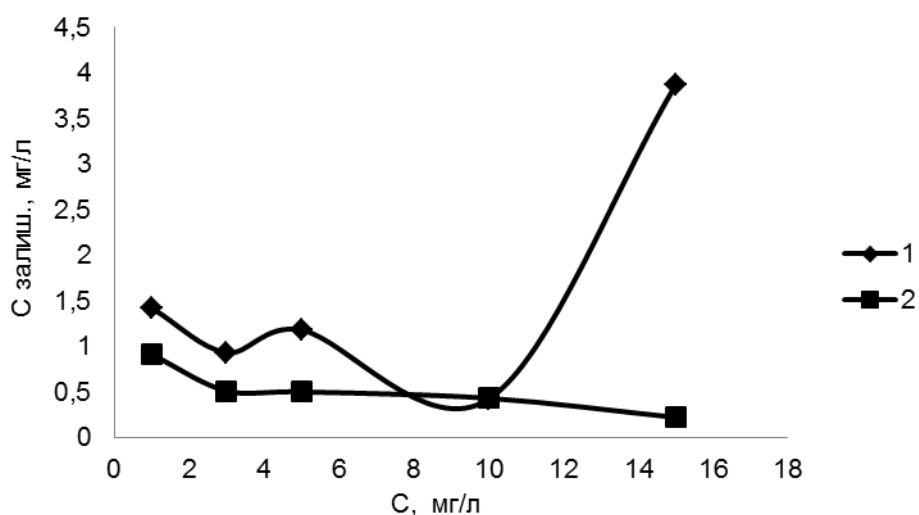


Рис.1. Залежність залишкової концентрації йонів  $\text{Cu}^{2+}$  від концентрації фероціаніду калію: модельні розчини, приготовані на дистильованій воді (1); модельні розчини, приготовані на водопровідній воді (2)

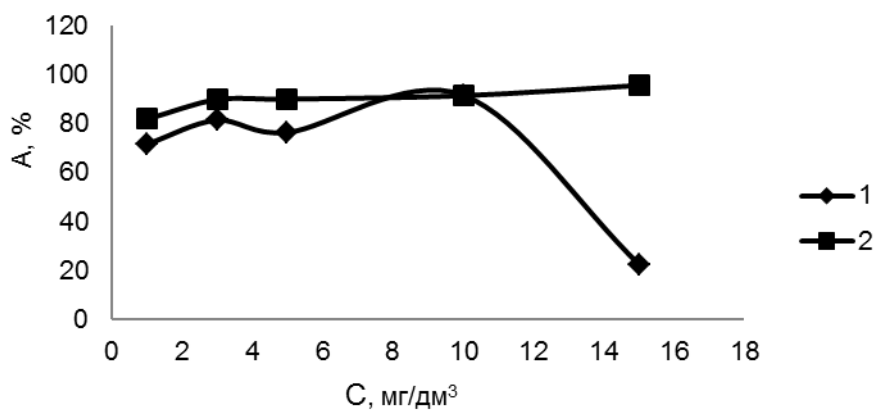


Рис.2. Залежність ступеню очищення розчинів від йонів  $\text{Cu}^{2+}$  фероціанідом калію: модельні розчини, приготовані на дистильованій воді (1); модельні розчини, приготовані на водопровідній воді (2)

Для покращення седиментаційних властивостей отриманої твердої фази використовували розчин катіонного флокулянту *Zetag-7547*. До 150 см<sup>3</sup> розчину сульфату міді з концентрацією 5 мг/дм<sup>3</sup> додавали розчин фероціаніду калію з концентраціями 1-5 мг/дм<sup>3</sup>, залишали зразки проби на дві години з періодичним перемішуванням; після чого вводили флокулянт з концентраціями 1; 3; 5; 10 мг/дм<sup>3</sup>, витримували розчини ще 30 хв. Для видалення малорозчинного комплексу проби фільтрували через паперовий фільтр «синя стрічка» і визначали залишкову концентрацію йонів міді фотоколориметрично з диетилдитіокарбаматом натрію.

Результати досліджень представлені на рис. 3 і 4.

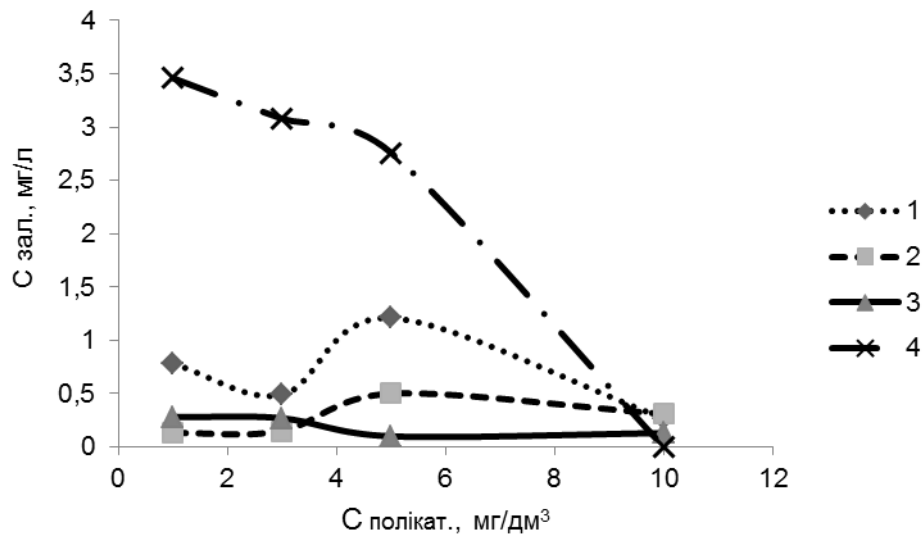


Рис. 3. Залежність залишкової концентрації йонів  $\text{Cu}^{2+}$  від концентрації фероціаніду калію і поліелектроліту *Zetag-7547*: **1** – концентрація  $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$  – 5 мг/дм<sup>3</sup>; **2** – концентрація  $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$  – 7 мг/дм<sup>3</sup>; **3** – концентрація  $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$  – 10 мг/дм<sup>3</sup>; **4** – концентрація  $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$  – 15 мг/дм<sup>3</sup>

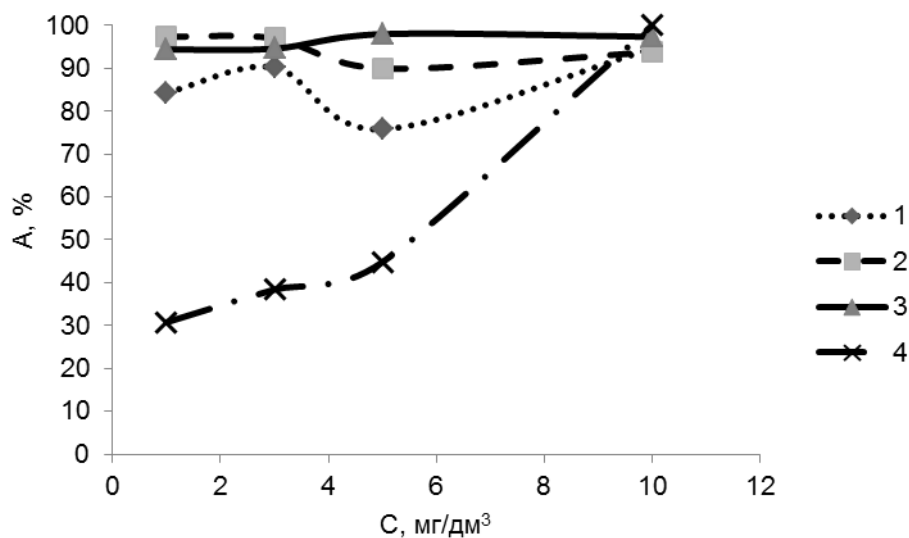


Рис. 4. Ефективність вилучення йонів міді фільтруванням при використанні фероціаніду калію і поліелектроліту *Zetag-7547*: **1** – концентрація  $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$  – 5 мг/дм<sup>3</sup>; **2** – концентрація  $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$  – 7 мг/дм<sup>3</sup>; **3** – концентрація  $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$  – 10 мг/дм<sup>3</sup>; **4** – концентрація  $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$  – 15 мг/дм<sup>3</sup>

Як видно із рис. 3 і 4, при збільшенні дози  $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$  ступінь очистки води знижується. При концентрації фероціаніду калію 15 мг/дм<sup>3</sup> відбувається утворення золів фероціанідів і  $\text{Cu}^{2+}$  переходить у розчин. На основі лабораторних досліджень були знайдені оптимальні співвідношення реагентів фероціанід калію: поліелектроліт. Ефективність вилучення йонів міді зростає при співвідношенні фероціанід: поліелектроліт 5:3; 5:5; 7:5.

Максимальний ступінь очистки склав 98 %. В цілому флокуляція забезпечує підвищення ступеню вилучення іонів купруму на 10...30 %.

Таким чином, на основі лабораторних досліджень хімічних взаємодій в системі «іон міді–фероціанід–флокулянт» встановлена можливість використання методу комплексоутворення/флокуляції для очистки вод, забруднених іонами міді. Для цього були визначені оптимальні умови застосування методу комплексоутворення/флокуляції для очищення СВ від іонів Cu (II). Встановлено, що при дотриманні оптимальних умов проведення процесу ступінь очистки сягає 98 %

### Список літератури

1. *Гальванические* покриття в машиностроении. Справочник в 2-х томах / Под ред. М.А. Шлугера, Л.Д. Тока. М.: Машиностроение, 1985. Т 2. 1985. 248 с.
2. *Коган Б.И.* Современные методы очистки сточных вод от ионов тяжелых металлов. М: Цветметинформация, 1975. 38 с.
3. *Лурье Ю.Ю.* Справочник по аналитической химии. М.: Химия, 1979. 480 с.
4. Химия ферроцианидов / Тананаев И.В., Сейфер Г.Б., Харитонов Ю.А. и др. М.: Наука, 1961. 320 с.

*Надійшло до редакції 20.11.2016*