

## ПОЛІПРОПІЛЕНОВИЙ БІПОЛЯРНИЙ ЕЛЕКТРОД ДЛЯ ЕЛЕКТРОЕКСТРАКЦІЇ КОБАЛЬТУ

*Мельник Н.І.*, кандидат хімічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, [kataeff@ukr.net](mailto:kataeff@ukr.net), [orcid.org/0000-0002-1149-0450](https://orcid.org/0000-0002-1149-0450)

*Власенко Н.Є.*, кандидат хімічних наук, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського», Київ, Україна, [vlasenko05@yahoo.com](mailto:vlasenko05@yahoo.com), [orcid.org/0000-0003-0916-0898](https://orcid.org/0000-0003-0916-0898)

*Коваленко І.В.*, кандидат хімічних наук, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського» Київ, Україна, [dana\\_ecology@ukr.net](mailto:dana_ecology@ukr.net), [orcid.org/0000-0002-0087-4926](https://orcid.org/0000-0002-0087-4926)

*Шпак А.Є.*, кандидат хімічних наук, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського», Київ, Україна, [shpak\\_ae@ukr.net](mailto:shpak_ae@ukr.net), [orcid.org/0000-0001-9547-0627](https://orcid.org/0000-0001-9547-0627)

*Зульфигаров А.О.*, кандидат хімічних наук, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського», Київ, Україна, [sars2007@ukr.net](mailto:sars2007@ukr.net), [orcid.org/0000-0003-2840-0607](https://orcid.org/0000-0003-2840-0607)

## THE POLYPROPYLENE BIPOLAR ELECTRODE FOR COBALT ELECTROEXTRACTION

*Melnik N.I.*, Ph.D., National Transport University, Kyiv, Ukraine, [kataeff@ukr.net](mailto:kataeff@ukr.net), [orcid.org/0000-0002-1149-0450](https://orcid.org/0000-0002-1149-0450)

*Vlasenko N.Ye.*, Ph.D., National Technical University of Ukraine «Igor Sikorskii Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv, Ukraine, [vlasenko05@yahoo.com](mailto:vlasenko05@yahoo.com), [orcid.org/0000-0003-0916-0898](https://orcid.org/0000-0003-0916-0898)

*Kovalenko I.V.*, Ph.D., National Technical University of Ukraine «Igor Sikorskii Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv, Ukraine, [dana\\_ecology@ukr.net](mailto:dana_ecology@ukr.net), [orcid.org/0000-0002-0087-4926](https://orcid.org/0000-0002-0087-4926)

*Shpak A.Ye.*, Ph.D., National Technical University of Ukraine «Igor Sikorskii Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv, Ukraine, [shpak\\_ae@ukr.net](mailto:shpak_ae@ukr.net), [orcid.org/0000-0001-9547-0627](https://orcid.org/0000-0001-9547-0627)

*Zul'figarov A.O.*, Ph.D., National Technical University of Ukraine «Igor Sikorskii Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv, Ukraine, [sars2007@ukr.net](mailto:sars2007@ukr.net), [orcid.org/0000-0003-2840-0607](https://orcid.org/0000-0003-2840-0607)

## ПОЛИПРОПИЛЕНОВЫЙ БИПОЛЯРНЫЙ ЭЛЕКТРОД ДЛЯ ЭЛЕКТРОЭКСТРАКЦИИ КОБАЛЬТА

*Мельник Н.И.*, кандидат химических наук, Национальный транспортный университет, Киев, Украина, [kataeff@ukr.net](mailto:kataeff@ukr.net), [orcid.org/0000-0002-1149-0450](https://orcid.org/0000-0002-1149-0450)

*Власенко Н.Е.*, кандидат химических наук, Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт им. Игоря Сикорского», Киев, Украина, [vlasenko05@yahoo.com](mailto:vlasenko05@yahoo.com), [orcid.org/0000-0003-0916-0898](https://orcid.org/0000-0003-0916-0898)

*Коваленко И.В.*, кандидат химических наук, Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт им. Игоря Сикорского», Киев, Украина, [dana\\_ecology@ukr.net](mailto:dana_ecology@ukr.net), [orcid.org/0000-0002-0087-4926](https://orcid.org/0000-0002-0087-4926)

*Шпак А.Е.*, кандидат химических наук, Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт им. Игоря Сикорского», Киев, Украина, [shpak\\_ae@ukr.net](mailto:shpak_ae@ukr.net), [orcid.org/0000-0001-9547-0627](https://orcid.org/0000-0001-9547-0627)

*Зульфигаров А.О.*, кандидат химических наук, Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт им. Игоря Сикорского», Киев, Украина, [sars2007@ukr.net](mailto:sars2007@ukr.net), [orcid.org/0000-0003-2840-0607](https://orcid.org/0000-0003-2840-0607)

**Постановка проблеми.** Захисні та декоративні покриття займають важливу роль в виробництві та ремонті автомобільної техніки та машинобудуванні. Гальванічним способом покривається значна кількість деталей машин. Основні забруднюючі речовини, які знаходяться в стічних водах автомобілебудівних, машинобудівних підприємств, підприємств кольорової металургії – це іони важких металів [1]. Вагому небезпеку представляють метали, які в найбільшій мірі забруднюють навколишнє середовище, через використання їх в значних об'ємах в виробничій

діяльності [2]. До таких металів відносяться нікель (II), кобальт (II), хром (III), цинк (II), мідь (II), кадмій (II) та інші. Стічні води гальванічних виробництв складають близько 50% від загальної кількості, тому їх очистка є актуальною [3]. До недавнього часу основним способом переробки величезного числа стоків гальванічних виробництв була їх нейтралізація за допомогою хімічних, електрохімічних, коагуляційних і інших методів [4]. Що, у свою чергу породжувало проблеми, пов'язані з утилізацією продуктів нейтралізації [5]. При цьому втрати дефіцитної сировини були величезними. Кількість хімічних компонентів, що втрачається з відпрацьованими розчинами машинобудівної та автомобільної промисловості і промивними водами є значним. Для вилучення металів з промивних вод найбільш перспективними є електрохімічні методи [6]. Застосування електролізу в його традиційному оформленні – на плоских електродах – нераціонально, тому що інтенсивність такого електролізу мала. Підвищенню продуктивності сприяє два основних фактори – збільшення площі електроду та оптимізація умов масопереносу в електролізері [7]. Застосування електролізера з біполярним електродом відповідає цим вимогам. Але металевий біполярний електрод [8] має деякі недоліки, а саме він не є пластичними та гнучким, тому з часом руйнується. В даній роботі вивчена можливість використання неметалевого електропровідного біполярного електроду для електроекстракції металів, замість металевого.

Тому пропонується спосіб вилучення металу на прикладі кобальту за допомогою електролізера з поліпропіленовим біполярним електродом оригінальної конструкції (Рис. 1). Поліпропіленова електропровідна стрічка представляє собою стабілізований поліпропілен, одержаний шляхом введення вуглецевого наповнювача та синтетичних каучуків.

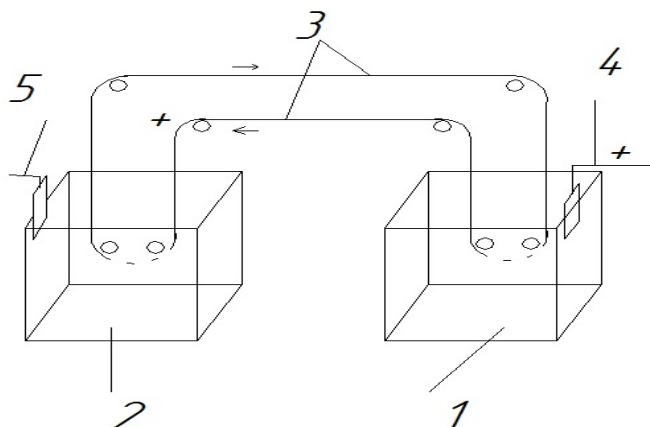


Рисунок 1 – Схема біполярного електролізера: 1 – анодна комірка, 2 – катодна комірка, 3 – поліпропіленовий рухомий біполярний електрод, 4 – допоміжний анод, 5 – допоміжний катод  
 Figure 1 – Chart of bipolar electrolyzer: 1 – anodic cell, 2 – cathode cell, 3 – movable bipolar polypropylene electrode, 4 – auxiliary anode, 5 – auxiliary cathode.

У першій комірці метал осаджується на частково занурений в розчин поліпропіленовій стрічці (3), що проводить електричний струм, і його знову розчиняють в електроліті в другій комірці частковим зануренням стрічки, що рухається. Розчинений в другій комірці кобальт знову осаджують на катоді (5). Після проведення електролізу аналізували концентрацію кобальту в обох комірках і визначали приріст ваги на допоміжному катоді (5). В процесі електролізу підвищується рівень електроліту в анодній (1) (у цій комірці біполярний електрод є анодом) і зменшується в катодній (2) (біполярний електрод є катодом), це свідчить про «перекачування» (механічне перенесення) електроліту поліпропіленовим біполярним електродом, що рухається. Реалізується так званий «електрохімічний насос», який перекачує кобальт. Використання цього методу значно збільшує швидкість очищення і поліпшує якість осадів. Вивчали процес вилучення кобальту з низько концентрованих розчинів (концентрація 0,25-0,75 моль/л), моделюючих промивні води. Для інтенсифікації процесу додавали фторидну кислоту (0,02 моль/л).

Коефіцієнт вилучення кобальту з розчинів розраховується за зменшенням концентрації іонів металів в катодній комірці:

$$K_v = (C_p - C_k) / C_p \cdot 100 \%$$

$C_p$  – початкова концентрація іонів металу,  $C_k$  – кінцева, відповідно.

Таблиця 1 – Залежність коефіцієнта вилучення кобальту від умов електролізу для поліпропіленового біполярного електрода, концентрація  $F^-$  0,02 моль/л.

Table 1 – Dependence of the coefficient of cobalt exception from the terms of electrolysis for polypropylene bipolar electrode, concentration  $F^-$  0,02 mol/l.

Початкова концентрація, моль/л	Швидкість протягування, см/хв.	Катодна комірка (Кв,%)	Анодна комірка. Вихід за струмом (допоміжний катод), %
0,25	0,01	45	48
0,25	0,75	59	60
0,25	1,5	65	68
0,5	0,01	50	51
0,5	0,75	68	69
0,5	1,5	72	74
0,75	0,01	52	53
0,75	0,75	71	74
0,75	1,5	74	76

Вилучення кобальту проводилось при різній швидкості протягування біполярного електрода (0,01 – 1,5 см/хв.). Незважаючи на дуже низьку концентрацію іонів металу в розчині на допоміжному катоді відбувалося осадження щільних осадів кобальту. В Таблиці 1 представлено дані Кв та виходу кобальту за струмом (Вс) від концентрації та швидкості протягування біполярного електрода. Підвищення концентрації іонів кобальту до 0,75 моль/л та зростання швидкості протягування до 1,5 см/хв призводить до інтенсифікації масо переносу, ця величина визначається такими складовими як дифузія, міграція та конвекція. При швидкості руху біполярного електрода 0,01 см/хв. (тобто майже стаціонарні умови) величина масопереносу визначається тільки дифузією, тому величини Кв та Вс є найменшими. В умовах застосування рухомого біполярного електрода (0,75 – 1,5 см/хв.), до дифузії додається міграція та конвекція. Це пояснюється зростанням градієнту потенціалу та напруженості електричного поля, як наслідок характеризується максимальними значеннями коефіцієнту вилучення та виходу за струмом.

Проведені порівняльні дослідження процесу електровідновлення кобальту з поліпропіленовим та металевим біполярним електродом в залежності параметрів електролізу. На Рис.2 представлено закономірності виходу за струмом та коефіцієнту вилучення кобальту від густини струму.

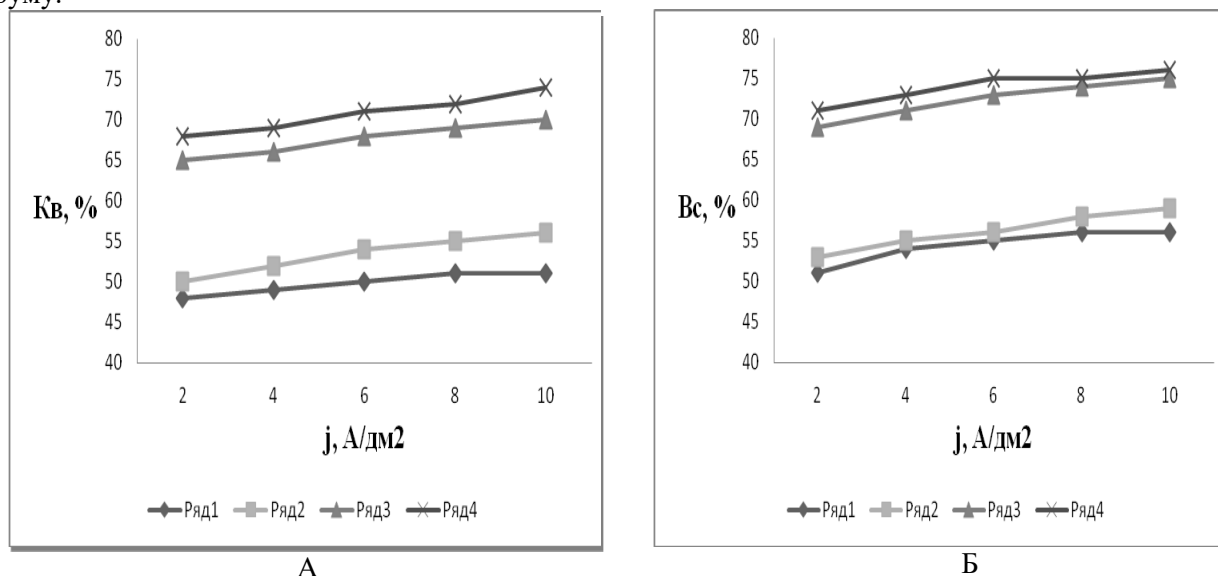


Рисунок 2 – Залежність густини струму  $j$ ,  $A/dm^2$  від: А) коефіцієнту вилучення кобальту; Б) виходу за струмом, в залежності від швидкості протяжки біполяру: 1 – 0,75 см/хв. – металевий; 2 – 0,75см/хв. – поліпропіленовий; 3 – 1,5см/хв. – металевий; 4 – 1,5см/хв. – поліпропіленовий.

Figure 2 – Dependence of the current density  $j$ ,  $A/dm^2$ : А) coefficient of cobalt exception; В) current output, depending on speed of bipolar: 1– 0,75cm/min – metallic; 2 – 0,75cm/min – polypropylene; 3 –1,5 cm/min – metallic; 4 – 1,5cm/min – polypropylene.

Застосування рухомого електроду обумовлює зростання густини струму та сприяє інтенсифікації продуктивності процесу. Максимальні значення  $K_v$  та  $V_s$  з розведених розчинів їх солей становлять 74% та 76% (відповідно) при швидкості руху біполярного електроду 1,5 см/хв. Застосування такого електрода дозволяє отримати більші значення виходу за струмом та коефіцієнту вилучення ніж для подібного металевого.

Одним з основних критеріїв для вибору параметрів процесу є якість осаду. Отримані осади є порошкоподібними, мають мікротвердість від 350 до 450 кг/мм<sup>2</sup>, залежно від концентрації іонів металу в електроліті. Мікротвердість покриттів кобальту визначали за допомогою мікротвердоміру ПМТ-3. Осади з максимальною мікротвердістю – суцільні, дрібнокристалічні з вузьким розподілом за розмірами 5 – 8 мкм. При аналогічних умовах на монополярному електроді осадження кобальту не відбувається.

Надзвичайно важливим показником для оцінки ефективності процесу є час електролізу, тому досліджувалась залежність коефіцієнта вилучення іонів кобальту від часу (Рис. 3).

Зі збільшенням тривалості електролізу швидкість вилучення металу падає тому економічно більш вигідно підтримувати концентрацію на фіксованому рівні, можливо нижчому, повертаючи збіднену воду в анодну камеру. Для вилучення 1 кг кобальту необхідно 20 кВт·год, процес досить ефективний і не потребує великих енергозатрат.

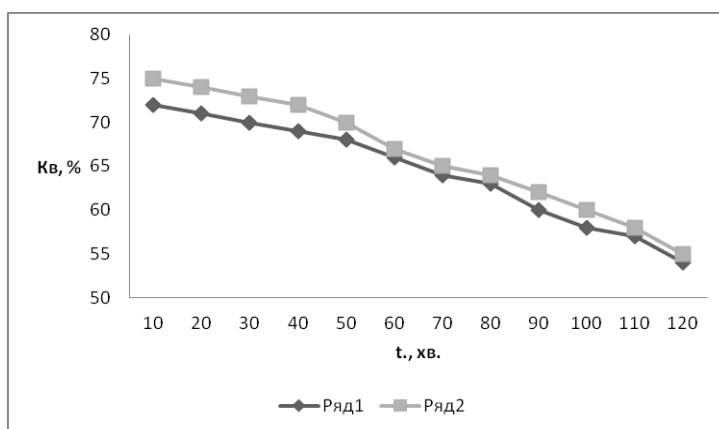


Рисунок 3 – Залежність коефіцієнта вилучення кобальту від часу електролізу для біполярного електроду: 1 – металевий; 2 – поліпропіленовий.

Figure 3 – Dependence of the extraction coefficient of cobalt from the time of electrolysis for a bipolar electrode: 1 - metallic; 2 - polypropylene.

Таким чином, встановлено, що застосування біполярного електролізера для вилучення кобальту з розчинів моделюючих промивні забезпечує електроекстракцію досить високої чистоти металу. Отримані порошкоподібні осади кобальту мають мікротвердість від 350 до 450 кг/мм<sup>2</sup>, залежно від концентрації іонів металу в електроліті. Для вилучення 1 кг кобальту необхідно 20 кВт·год, процес досить ефективний і не потребує великих енергозатрат. Вперше використано електропровідний поліпропіленовий біполярний електрод, який забезпечує легкість і пластичність, що не реалізується у випадку подібного металевого. Максимальні значення коефіцієнту вилучення кобальта та виходу за струмом з розведених розчинів їх солей становлять 74% та 76% (відповідно) при швидкості руху біполярного електроду 1,5 см/хв. В даній роботі показана можливість використання неметалевого електроповодного біполярного електрода для електроекстракції металів, замість металевого.

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Kobya M. Treatment of Cr, Ni and Zn from galvanic rinsing wastewater by electrocoagulation process using ion electrodes / Kobya M., Erdem N., Demirbas E. // Desalination and water treatment. – 2015. – V. 56(5). – P.1191-1201.
2. Пімнева Л.А. Очистка стічних вод від токсичних важких металів/ Пімнева Л.А.// Сучасні наукоємні технології. – 2013. – №2. – С. 99-101.
3. Філатова Є.Г. Огляд технологій очистки стічних вод від іонів важких металів, які базуються на фізико – хімічних процесах./ Філатова Є.Г.// Вісник ВНЗів. Прикладна хімія та біотехнологія. – 2015. – №2 (13). – С.97-108.

4. Павлов Д.В. Очистка сточных вод различных производств с применением наилучших доступных технологий/ Павлов Д.В., Колесников В.А. // Чистая вода: проблемы и решения. – 2010. – №2-3. – С.145-153.
5. Халтурина Т.И. Гальванокоагуляционное обезреживание сточных вод содержащих ионы тяжелых металлов / Халтурина Т.И., Курилина Т.А. // Изв. ВУЗов. Строительство. – 2009. – № 9. – С.77-83.
6. Власенко Н.С. Вивчення процесу електровідновлення іонів цинку на біполярному електроді в слабоонцентрованих розчинах / Власенко Н.С., Иванова Н.Д., Колбасов Г.Я., Герасимчук А.І. // Український хімічний журнал. – 2003. – Т. 69, №8. – С. 83-89.
7. Власенко Н.С. Електрохімічний синтез оксидних сполук кобальту/ Власенко Н.С., Потаскалов В.А., Тарасенко Н.В., Плаван В.П. // Вісник КНУТД. – 2015, №4. – С. 13–16.
8. Иванова Н.Д. Кинетика процесса электроэкстракции меди (II) из разбавленных электролитов/ Иванова Н.Д., Герасимчук А.И., Власенко Н.Е.// Журнал прикладной химии. – 2002. – Т. 75, № 7. – С.1096 – 1098.

#### REFERENCES

1. Kobya, M. Treatment of Cr, Ni and Zn from galvanic rinsing wastewater by electrocoagulation process using ion electrodes / Kobya, M., Erdem, N., Demirbas, E. // Desalination and water treatment. – 2015. – V. 56(5). – P.1191- 1201 [in English].
2. Рымнева, L.A (2013) Ochystka stichnykh vod vid toksychnykh vazhkykh metaliv [Purification of wastewater in toxic metal]. Suchasni naukoymeni tekhnolohiyi. – Modern science and technology, №2, 99-101 [in Ukrainian].
3. Filatova, E.G. (2015) Ohlyad tekhnolohiy ochystky stichnykh vod vid ioniv vazhkykh metaliv, yaki bazuyutsya na fizyko-khimichnykh protsesakh [An overview of wastewater treatment technologies from heavy metal ions based on physical and chemical processes]. Visnyk VNZiv. Prykladna khimiya ta biotekhnolohiya. – Journal of Higher Education. Applied Chemistry and Biotechnology. – №2 (13), 97-108 [in Ukrainian].
4. Pavlov, D.V., Kolesnikov, V.A. (2010) Ochistka stochnykh vod razlichnykh proizvodstv s primeneniym nailuchshikh dostupnykh tekhnologiy [Wastewater treatment of various industries using the best available technologies]. Chistaya voda: problemy i resheniya. – Clean water: problems and solutions, №2-3, 145 – 153 [in Russian].
5. Khalturina, T.I., Kurilina, T.A. (2009) Gal'vanoakoagulyatsionnoye obezrezhivaniye stochnykh vod sodержashchikh iony tyazhelykh metallov [Galvano-coagulation disinfection of waste water containing heavy metal ions]. Izv. VUZov. Stroitel'stvo. – Izv. Universities. Building, № 9, 77- 83 [in Russian].
6. Vlasenko, N.Ye., Ivanova, N.D., Kolbasov, H.YA., Herasymchuk, A.I. (2003) Vyvchennya protsesu elektrovidnovlennya ioniv tsynku na bipolyarnomu elektrodі v slaboontsentrovanykh rozchynakh [Study of the process of electrons recovery of zinc ions on a bipolar electrode in weakly concentrated solutions]. Ukrayins'kyi khimichnyy zhurna. – Ukrainian Chemical Magazine, V.69 (8), 83-89 [in Ukrainian].
7. Vlasenko, N.Ye., Potaskalov, V.A., Tarasenko, N.V., Plavan, V.P. (2015) Eletrokhimichnyy syntez oksydneykh spoluk kobaltu [Eletrochemical synthesis of oxide compounds of cobalt]. Visnyk KNUTD. – KNUTD Bulletin, №4, 13-16 [in Ukrainian].
8. Ivanova, N.D., Gerasimchuk, A.I., Vlasenko, N.E. (2002) Kinetika protsessu eletroekstraksii medi (II) iz razbavlenykh elektrolitov [Kinetics of the electroextraction process of copper (II) from dilute electrolytes]. Zhurnal prikladnoy khimii. – Journal of Applied Chemistry, V.75 (7), 1096-1098 [in Russian].

#### РЕФЕРАТ

Мельник Н.І. Поліпропіленовий біполярний електрод для електроекстракції кобальту / Н.І. Мельник, Н.С. Власенко, І.В. Коваленко, А.С. Шпак, А.О. Зульфїгаров // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науково-технічний збірник. – К. : НТУ, 2020. – Вип. 1 (46).

В статті запропоновано використання поліпропіленового біполярного електроду для вилучення кобальту з низькоконцентрованих розчинів.

Об'єкт дослідження: електролізер з поліпропіленовим біполярним електродом

Мета роботи: дослідження процесу електроекстрації кобальту на поліпропіленовому біполярному електроді з низько концентрованих розчинів.

Методи дослідження: стаціонарна та нестаціонарна вольтамперометрія, метод вимірювання мікротвердості.

Встановлено, що застосування біполярного електролізера забезпечує електроекстракцію досить високої чистоти металу в процесі вилучення кобальту. Використання поліпропіленового біполярного електроду забезпечує легкість і пластичність, що не реалізується у випадку подібного металевого. Отримані осадки мають мікротвердість від 350 до 450 кг/мм<sup>2</sup>, залежно від концентрації іонів металу в електроліті. Осади з максимальною мікротвердістю – суцільні, дрібнокристалічні з вузьким розподілом за розмірами 5 – 8 мкм. Максимальні значення коефіцієнта вилучення та виходу за струмом з розведених розчинів їх солей становлять 74% та 76% (відповідно) при швидкості руху біполярю 1,5 см/хв. Для вилучення 1 кг кобальту необхідно 20 кВт·год, процес досить ефективний і не потребує великих енергозатрат.

Результати статті можуть бути упроваджені в технології очистки стічних вод гальванічних виробництв від іонів важких металів.

У подальшому планується вивчити можливість застосування поліпропіленового біполярного електроду для вилучення металів.

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** ПОЛІПРОПІЛЕНОВИЙ БІПОЛЯРНИЙ ЕЛЕКТРОД, ЕЛЕКТРОЕКСТРАКЦІЯ КОБАЛЬТУ, НИЗЬКОКОНЦЕНТРОВАНІ РОЗЧИНИ.

#### **ABSTRACT**

Melnik N.I., Vlasenko N.Ye., Kovalenko I.V., Shpak A.Ye., Zul'figarov A.O. The polypropylene bipolar electrode for cobalt electroextraction. Visnyk National Transport University Series «Technical sciences». Scientific and Technical Collection. – Kyiv: National Transport University, 2020. – Issue 1 (46).

In the article the polypropylene bipolar electrode is offered for the cobalt extraction from low concentration solutions.

Research object: electrolyzer with polypropylene bipolar electrode.

Purpose of the study: research of cobalt electroextraction on the polypropylene bipolar electrode from low concentrated solutions.

Research methods: stationary and non-stationary voltamperometry, measuring method of micro hardness.

It was established that application of bipolar electrolyzer provides high purity electro-extraction of metal in the process of cobalt extraction. Using of polypropylene bipolar electrode provides lightness and plasticity that is not realized in the case of similar metallic. Received fallouts have a microhardness from 350 to 450 kg/mm<sup>2</sup>, depending on ions concentration of metal in electrolyte. Fallouts with maximal microhardness – homogeneous, fine crystalline with narrow distribution after the sizes of 5 – 8 mkm. The maximal values of extraction coefficient and current output from diluted solutions of their salts set 74 and 76 % (respectively) at the rate of bipolar movement 1,5 cm/min. For an extraction 1 kg of cobalt it is necessary 20 kW·h, the process is effective and does not require high energy costs.

The results of the article can be implemented in technology of wastewater treatment from heavy metal ions at galvanic productions.

In the future it is planned to study the possibility of application polypropylene bipolar electrode for metal extraction.

**KEY WORDS:** POLYPROPYLENE BIPOLAR ELECTRODE, COBALT ELECTROEXTRACTION, LOW CONCENTRATION SOLUTIONS.

#### **РЕФЕРАТ**

Мельник Н.И. Полипропиленовый биполярный электрод для электроэкстракции кобальта / Н.И. Мельник, Н.Е. Власенко, И.В. Коваленко, А.Е. Шпак, А.О. Зулфигаров// Вестник Национального транспортного университета. Серия «Технические науки». Научно-технический сборник. – К.: НТУ, 2020. – Вып. 1 (46).

В статье предложено использование полипропиленового биполярного электрода для извлечения кобальта из низкоконцентрированных растворов.

Объект исследования: электролизер с полипропиленовым биполярным электродом

Цель работы: исследование процесса электроэкстракции кобальта на полипропиленовом биполярном электроде из низкоконцентрированных растворов.

Методы исследования: стационарная и нестационарная вольтамперометрия, метод измерения микротвердости.

Установлено, что использование биполярного электролизера обеспечивает электроэкстракцию достаточно высокой чистоты металла в процессе извлечения кобальта. Применение полипропиленового биполярного электрода обеспечивает легкость и пластичность, что не реализуется в случае подобного металлического. Полученные осадки имеют микротвердость от 350 до 450 кг/мм<sup>2</sup>, в зависимости от концентрации ионов металла в электролите. Осадки с максимальной микротвердостью – цельные, мелкокристаллические с узким распределением по размерам 5 – 8 мкм. Максимальные значения коэффициента извлечения и выхода по току из разведенных растворов их солей составляют 74% та 76%, соответственно, при скорости движения биполяра 1,5 см/мин. Для извлечения 1 кг кобальта необходимо 20 кВт·час, процесс достаточно эффективен и не требует больших энергозатрат.

Результаты статьи могут быть применены в технологии очистки сточных вод гальванических производств от ионов тяжелых металлов.

В дальнейшем планируется изучить возможность применения полипропиленового биполярного электрода для извлечения металлов.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** ПОЛИПРОПИЛЕНОВЫЙ БИПОЛЯРНЫЙ ЭЛЕКТРОД, ЭЛЕКТРОЭКСТРАКЦИЯ КОБАЛЬТА, НИЗКОКОНЦЕНТРОВАННЫЕ РАСТВОРЫ.

#### **АВТОРИ:**

Мельник Наталя Іванівна, кандидат хімічних наук, доцент, Національний транспортний університет, доцент кафедри дорожньо-будівельних матеріалів і хімії, e-mail: kataeff@ukr.net, тел. +38-044-275-47-60, Україна, 02000 м.Київ, вул. М.Омеляновича-Павленка, 1, orcid.org/0000-0002-1149-0450.

Власенко Наталя Євгенівна, кандидат хімічних наук, доцент, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського», доцент кафедри загальної та неорганічної хімії, e-mail: vlasenko05@yahoo.com, тел. +38-044-204-82-10, Україна, 03056 м.Київ, пр. Перемоги, 37, к.4, orcid.org/0000-0003-0916-0898.

Коваленко Ірина Володимирівна, кандидат хімічних наук, доцент, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського», доцент кафедри загальної та неорганічної хімії, e-mail: dana\_ecology@ukr.net, тел. +38-044-204-82-10, Україна, 03056 м.Київ, пр. Перемоги, 37, к.4, orcid.org/0000-0002-0087-4926.

Шпак Арсеній Євгенович, кандидат хімічних наук, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського», старший викладач кафедри загальної та неорганічної хімії, e-mail: shpak\_ae@ukr.net, тел. +38-044-204-82-10, Україна, 03056 м.Київ, пр. Перемоги, 37, к.4, orcid.org/0000-0001-9547-0627.

Зульфїгаров Артур Олегович, кандидат хімічних наук, Національний технічний університет України, Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського», асистент кафедри загальної та неорганічної хімії, e-mail: sars2007@ukr.net, тел. +38-044-204-82-10, Україна, 03056 м.Київ, пр. Перемоги, 37, к.4, orcid.org/0000-0003-2840-0607.

#### **AUTHORS:**

Melnik Nataly I., Ph.D., associated professor, National Transport University, associated professor at department of road construction materials and chemistry, e-mail: kataeff@ukr.net, тел. +38-044-275-47-60, Ukraine, 02000 Kyiv, Omelyanovicha-Pavlenko str.1, orcid.org/0000-0002-1149-0450.

Vlasenko Nataly Ye., Ph.D., associated professor, National Technical University of Ukraine «Igor Sikorskii Kyiv Polytechnic Institute», associated professor at department of general and inorganic chemistry, e-mail: vlasenko05@yahoo.com, тел. +38-044-204-82-10, Ukraine, 03056, Kyiv, Av.Peremogy, 37, of.4, orcid.org/0000-0003-0916-0898.

Kovalenko Iryna V., Ph.D., associated professor, National Technical University of Ukraine «Igor Sikorskii Kyiv Polytechnic Institute», associated professor at department of general and inorganic chemistry, e-mail: dana\_ecology@ukr.net, тел. +38-044-204-82-10, Ukraine, 03056, Kyiv, Av. Peremogy, 37, of.4, orcid.org/0000-0002-0087-4926.

Shpak Arseny Ye., Ph.D., National Technical University of Ukraine «Igor Sikorskii Kyiv Polytechnic Institute», senior lecturer at department of general and inorganic chemistry, e-mail: shpak\_ae@ukr.net, тел. +38-044-204-82-10, Ukraine, 03056, Kyiv, Av. Peremogy, 37, of.4, orcid.org/0000-0001-9547-0627.

Zul'figarov Arthur O., Ph.D., National Technical University of Ukraine «Igor Sikorskii Kyiv Polytechnic Institute», assistant at department of general and inorganic chemistry, e-mail: sars2007@ukr.net, тел. +38-044-204-82-10, Ukraine, 03056, Kyiv, Av. Peremogy, 37, of.4, orcid.org/0000-0003-2840-0607.

#### **АВТОРЫ:**

Мельник Наталья Ивановна, кандидат химических наук, доцент, Национальный транспортный университет, доцент кафедры дорожно-строительных материалов и химии, e-mail: kataeff@ukr.net, тел. +38-044-275-47-60, Украина, 02000 г.Киев, ул. М.Емельяновича-Павленко, 1, orcid.org/0000-0002-1149-0450.

Власенко Наталья Евгеньевна, кандидат химических наук, доцент, Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт им. Игоря Сикорского», доцент кафедры общей и неорганической химии, e-mail: vlasenko05@yahoo.com, тел. +38-044-204-82-10, Украина, 03056 г.Киев, пр. Победы, 37, к.4, orcid.org/0000-0003-0916-0898.

Коваленко Ирина Владимировна, кандидат химических наук, доцент, Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт им. Игоря Сикорского», доцент кафедры общей и неорганической химии, e-mail: dana\_ecology@ukr.net, тел. +38-044-204-82-10, Украина, 03056 г.Киев, пр. Победы, 37, к.4, orcid.org/0000-0002-0087-4926.

Шпак Арсений Евгеньевич, кандидат химических наук, Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт им. Игоря Сикорского», старший преподаватель кафедры общей и неорганической химии, e-mail: shpak\_ae@ukr.net, тел. +38-044-204-82-10, Украина, 03056 г.Киев, пр. Победы, 37, к.4, orcid.org/0000-0001-9547-0627.

Зульфигаров Артур Олегович, кандидат химических наук, Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт им. Игоря Сикорского», ассистент кафедры общей и неорганической химии, e-mail: sars2007@ukr.net, тел. +38-044-204-82-10, Украина, 03056 г.Киев, пр. Победы, 37, к.4, orcid.org/0000-0003-2840-0607.

#### **РЕЦЕНЗЕНТЫ:**

Андрийко О. О., доктор хімічних наук, професор, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського», зав. кафедри загальної та неорганічної хімії, Київ, Україна.

Пархоменко Н.Г., кандидат хімічних наук, професор, Национальный транспортный университет, профессор кафедры дорожно-строительных материалов и химии, Київ, Україна.

#### **REVIEWERS:**

Andriiko A.A., Doctor of Chemical Sciences, professor, National Technical University of Ukraine «Igor Sikorskii Kyiv Polytechnic Institute», chief of department of general and inorganic chemistry, Kyiv, Ukraine.

Parhomenko N.G., Ph.D. (Chemistry), professor at department of road construction materials and chemistry, National Transport University, Kyiv, Ukraine.