**Скиба М. І.****Півоваров О. А.****Макарова А. К.***Український державний  
хіміко-технологічний  
університет***Воробйова В. І.***Київський  
політехнічний  
інститут  
імені Ігоря Сікорського***Skiba M. I.****Pivovarov O. A.****Makarova A. K.***Ukrainian State University  
of Chemical Technology***Vorobyova V. I.***Igor Sikorsky Kyiv  
Polytechnic Institute***УДК 66: 533.9+004.9**

## **ОДЕРЖАННЯ ОКСИДУ КОБАЛЬТУ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ РОЗРЯДУ НЕРІВНОВАЖНОЇ ПЛАЗМИ**

*В роботі розглянуто одержання оксиду кобальту з водних розчинів його гідроксиду із застосування розряду контактної нерівноважної низькотемпературної плазми, в порівнянні з традиційним методом осадження із застосуванням гідроген пероксиду. Визначено вплив концентрації прекурсору на одержання сполук оксиду кобальту. Встановлено, що сила струму в ланцюзі в процесі плазмового впливу на розчин гідроксиду кобальту, для формування його оксиду, є фактором, що впливає на вихід окисних сполук та цільового продукту. Наведено закономірності впливу сили струму плазмового розряду на одержання оксиду кобальту. Визначено фазовий склад та розмір часток отриманого оксиду кобальту за допомогою рентгеноструктурного та електронно-мікроскопічного аналізу відповідно, які свідчать про одержання нанорозмірних сполук  $Co_3O_4$ .*

*Ключові слова:* одержання, оксид кобальту, розряд, нерівноважна плазма, сила струму, перекис водню.

**Вступ.** Нанодисперсні оксиди металів знаходять все більш широке промислове застосування в різних галузях. Окремий інтерес представляє оксид кобальту структури  $Co_3O_4$ , що застосовується для одержання каталізаторів, сенсорів, оптичних і магнітних матеріалів нового покоління, при виробництві іон літєвих батарей, як каталізатор у боротьбі із забрудненням повітря, органічних забруднювачів зі стічних вод та ін. Наразі відомо значну кількість різних методів отримання нанорозмірних оксидів металів, причому встановлено, що оксиди одного і того ж складу і з однієї і тієї ж формою часток, але отримані різними способами можуть істотно відрізнятися фізичними та фізико-хімічними властивостями.

**Аналіз досліджень і публікацій.** Як правило оксид кобальту, отримують шляхом термічного розкладання солей кобальту в окисній атмосфері при температурі від 250–900°C [1, 2]. Також застосовують такі способи як золь-гель [3], піроліз [4], хімічне осадження з

парової фази [5], електрохімічний і сонохімічний синтез [6]. Проте, всі зазначені методи потребують відносно високого температурного режиму для їх реалізації. Наразі добре відомо, що вода під впливом  $\square$ -випромінювання може генерувати активні частки, здатні відновлювати іони металів. За допомогою останнього успішно отримують наночастки благородних металів та металів змінної валентності та їх сплави. Тому розробка нових вискоєфективних та інноваційних технологій, спрямованих на одержання нанорозмірних неорганічних сполук кобальту, наразі є актуальною. На сьогоднішній день одним із найбільш інноваційних, екологічно безпечних та енергоощадних методів отримання нанорозмірних сполук є застосування плазмових розрядів [7]. Відтак повідомляється про можливість одержання наночасток металів та їх оксидів безпосередньо за допомогою плазмового розряду, що генерується між зануреними у рідину електродами [8, 9], на границі розділу фаз газ-рідина при зниженому тиску [10], плазми



атмосферного тиску при взаємодії з рідиною [11] та ін. Наразі застосовують плазмові розряди переважно у газовій фазі, з цією метою застосовують коронний, бар'єрний або іскровий плазмові розряди. Серед плазмохімічних розрядів перспективним, з точки зору практичного застосування, є контактна нерівноважна низькотемпературна плазма (КНП). Плазмовий розряд генерується між електродом, що знаходиться в газовій фазі та поверхнею рідини, в об'ємі якої знаходиться другий електрод. Таким чином хімічні перетворення на границі розподілу фаз обумовлені комплексним впливом електрохімічного окиснення-відновлення; реакціями фотолізу, що ініціюються, УФ - опроміненням; потоком заряджених часток з газової фази на поверхню рідкого середовища [12]. Варіювання складу рідких фаз можливо в певній мірі керувати маршрутами протікання хімічних перетворень та складом одержаних продуктів. Одним з перспективних напрямків практичного застосування КНП є плазмохімічне оброблення водних розчинів прекурсорів металів з метою одержання нанорозмірних неорганічних сполук металів. Особливий інтерес для ряду галузей представляють колоїдні розчини та порошки оксиду кобальту.

**Метою роботи** є дослідження одержання нанорозмірних сполук кобальту за допомогою контактної нерівноважної низькотемпературної плазми.

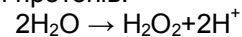
**Викладення основного матеріалу.** Дослідження проводили в газорідному реакторі періодичної дії об'ємом 100 мл. Електроди виконано з нержавіючої сталі, анод ( $d=4$  мм) розташовано в рідинній частині, а катод ( $d=2,4$  мм) на відстані 10 мм від поверхні розчину. Об'єм розчину в реакторі становив 70 мл. Утворений в результаті пробою стовп плазми є інструментом обробки. Охолодження реакційної суміші забезпечували безперервною циркуляцією холодної води. Тиск в реакторі  $80 \pm 4$  кПа. Для одержання плазмового розряду на електроди подавали напругу  $500 \div 1000$  В. Сила струму підтримувалась на рівні  $120 \pm 6$  мА. Розчини готували розчиненням наважок прекурсорів кваліфікації «ч.д.а.» в дистильованій воді. Окисно-відновний потенціал вимірювали через 30 секунд після припинення обробки розчинів КНП. Електрод витримували в досліджуваних розчинах не менше 1 хв. Значення ОВП розраховували з урахуванням потенціалу електрода порівняння. Оптичні спектри золів реєстрували на спектрофотометрі UV-5800PC з використанням кварцових кювет в діапазоні довжин хвиль 190–700 нм. З метою встановлення закономірностей

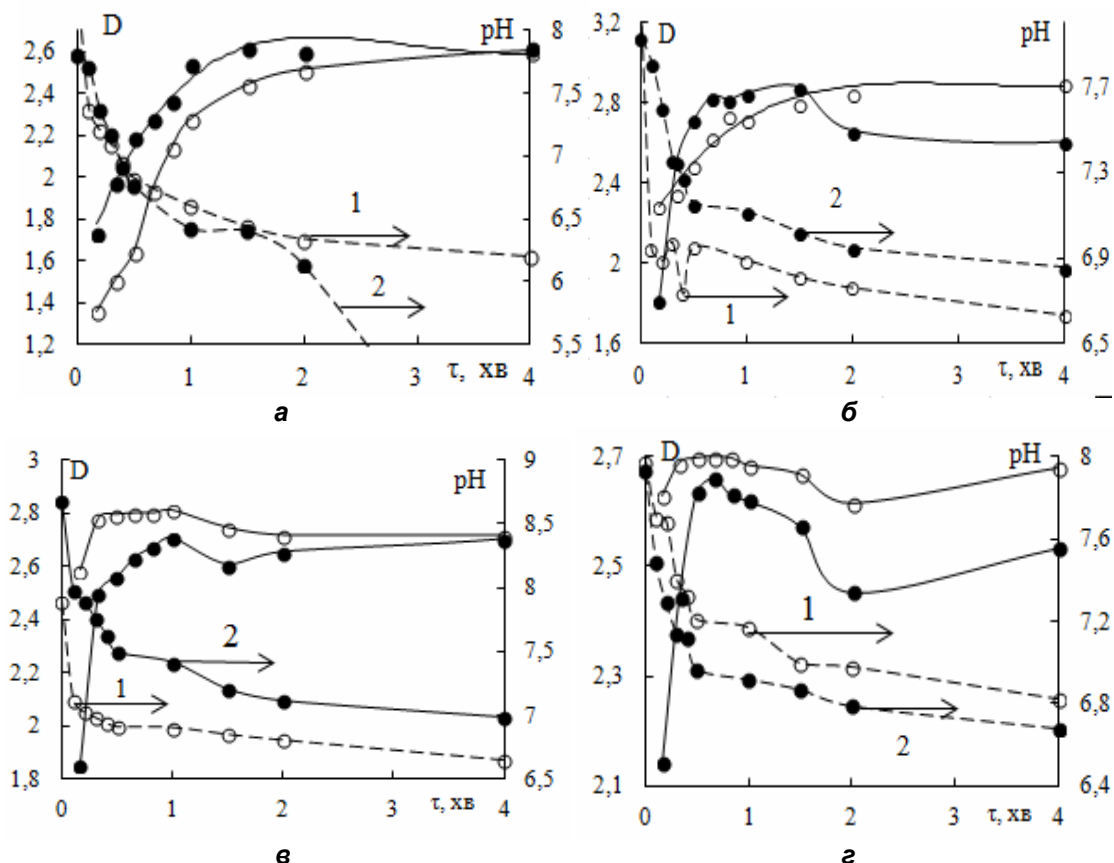
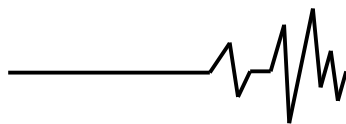
впливу сили струму плазмового розряду на одержання оксиду кобальту були отримані зразки гідроксиду кобальту різної концентрації при  $[\text{OH}^-]/[\text{Co}^{2+}] = 3$ . Одержання кисневмісних сполук кобальту із застосуванням синтетичного пероксиду водню проводили за наступних умов: одержання гідроксиду кобальту при  $[\text{OH}^-]/[\text{Co}^{2+}] = 1,2$ , (попередніми експериментами було встановлено, що при цьому мольному співвідношенні можливо отримати високодисперсні системи), додавали визначену кількість розчину пероксиду водню 3 мас. % і витримували протягом 2 год. Після припинення виділення газу система мала темно-коричневе забарвлення. Отриману дисперсну фазу відокремлювали від рідини та висушували на повітрі. Розмірні параметри отриманих сполук досліджували за допомогою електронного мікроскопу FEI E-SEM XL 30.

Наразі експериментально встановлено, що утворення оксиду кобальту із застосуванням КНП можливо шляхом обробки гідроксиду кобальту, утвореного в результаті гідролізу хлориду кобальту гідроксидом натрію. Процес перетворення гідроксиду кобальту під дією плазмохімічного розряду візуально виражений, що дозволяє контролювати процес із застосуванням фотометричних приладів. Згідно з літературними даними [12, 13], оптимізуючими факторами плазмохімічного впливу на оброблюванню середовища є: сила струму розряду, тиск в реакторі, тривалість впливу плазми, концентрація розчинів, температура і кислотність розчинів.

З метою встановлення закономірностей впливу сили струму плазмового розряду на одержання оксиду кобальту були отримані зразки гідроксиду кобальту різної концентрації в діапазоні від 0,1–1,5 г/л, оброблені розрядом при різному значенні сили струму в ланцюзі, але постійному тиску в реакторі. За експериментальними даними було побудовано залежності оптичної густини утворених розчинів оксиду кобальту різної концентрації, що наведено на рис. 1.

Отримані дані свідчать, що оптична густина для всіх досліджуваних концентрацій та значень сили струму збільшується в процесі плазмохімічної обробки. Слід зазначити, що, вірогідно, вихід отриманого продукту визначається окисними сполуками, що утворюються в результаті плазмохімічного впливу на оброблюване середовище гідроксиду кобальту. В досліджуваному розчині має місце накопичення пероксиду водню, утворення якого з іонізованих молекул води, що відбувається з відщепленням протонів:

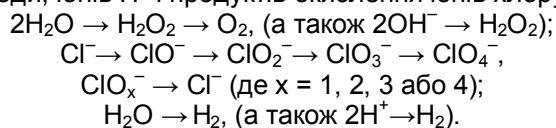




**Рис. 1.** Залежність оптичної густини та pH плазмохімічно отриманого розчину оксиду кобальту залежно від сили струму (•) – 220 мА; (◦) – 120 мА та концентрації С, г/л: а – 0,1; б – 0,5; в – 1,0; г – 1,5

Крім того під впливом плазмового розряду має місце накопичення кисневмісної сполуки хлору з розчину натрію хлориду, що присутній в електроліті як продукт реакції гідролізу хлориду кобальту лугом. Відповідно до отриманих експериментальних даних при підвищенні сили струму з 120 мА до 220 мА у всіх отриманих розчинах після 1,5–2,0 хв. спостерігається зниження значень оптичної густини. Отримані дані в повній мірі узгоджуються з закономірностями утворення кисневмісних сполук хлору під впливом плазмового розряду. За даними авторів [14], саме в часовому інтервалі до 6 хв. вихід за струмом окремих кисневмісних сполук ( $\text{ClO}_3^-$ ,  $\text{ClO}_4^-$ ) збільшується, а сумарний вихід за струмом перевищує 100%, в наслідок реалізації хімічних реакцій окислення молекул води, іонів  $\text{OH}^-$ ,  $\text{Cl}^-$  і проміжних продуктів їх окислення. Проте, у цьому випадку, як зазначають автори, зі збільшенням сили струму розряду концентрація  $\text{H}_2\text{O}_2$  в розчинах практично не змінюється. Як відомо [12, 13], зміна кислотності водних розчинів в процесі їх обробки КНП пояснюється сукупною дією катодного процесу виділення водню на

поверхні, зануреного в розчин електроду і анодного процесу окислення води на поверхні розчину в зоні дії плазмового факела. Отримані данні (рис. 1) свідчать, що збільшення сили струму в ланцюзі та тривалості дії розряду КНП на розчини всіх досліджуваних концентрацій сприяє зниженню водневого показника, що обумовлено можливим відновленням молекул води, іонів  $\text{H}^+$  і продуктів окислення іонів хлору:



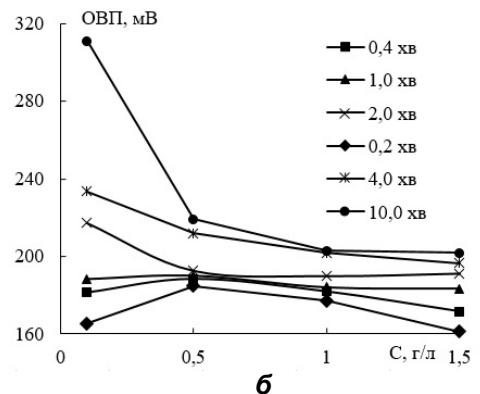
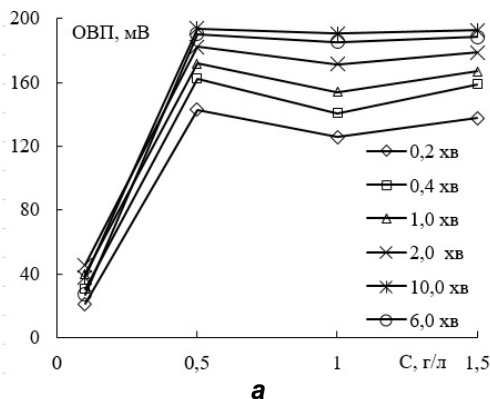
На рис. 2 наведено результати вимірювання ОВП розчину утвореного оксиду кобальту залежно від концентрації іонів кобальту і тривалості обробки плазмовим розрядом при різному значенні сили струму.

Характер розглянутих залежностей величин ОВП від часу обробки розчинів низькотемпературної плазмою зручно аналізувати у вигляді графічного зіставлення величин ОВП з вихідними концентраціями розчину гідроксиду кобальту. Для всіх вивчених часових інтервалів впливу при силі струму плазми в ланцюзі 120 мА спостерігається



закономірна зміна ОВП: спочатку ОВП збільшується до деякої «концентраційної межі», а при подальшому збільшенні вмісту іонів кобальту залишається майже без змін. При силі струму 220 мА характер закономірностей відрізняється і при збільшенні тривалості обробки більше 1 хв. має інший характер: "концентраційний максимум" припадає на 0,1 г/л, а подальше підвищення тривалості обробки сприяє його зниженню ОВП. Така зміна характеру залежності узгоджується з вище зазначеними закономірностями утворення

кисневмісних сполук хлору під впливом плазмового розряду вище 120 мА. Очевидно, що вихід того чи іншого продукту окисно-відновного перетворення  $H_2O$  і  $Co^{2+}$  визначається сукупністю значної кількості факторів (наприклад: плазмохімічними виходами їх радикальних часток, редокс-величинами потенціалів, концентраціями, кислотністю розчинів, температурою) і тому важко передбачуваний і потребує додаткових досліджень.

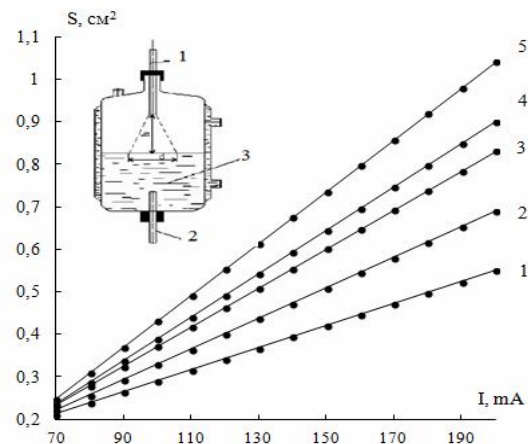


**Рис. 2.** Співставлення окисно-відновних потенціалів розчину оксиду кобальту з концентрацією розчинів залежно від тривалості плазмової обробки та сили струму; а – 120 мА, б – 220 мА

Сукупність отриманих даних дає підстави вважати, що сила струму в ланцюзі в процесі плазмового впливу на розчини гідроксиду кобальту для формування оксиду кобальту є фактором, що впливає на вихід окисних агентів, а як наслідок, і цільового продукту. Проте, беручи до уваги незначну відмінність оптичної густини при зміні сили струму в досліджуваних зразках підвищення значення сили струму до 220 мА та тривала обробка розчинів гідроксиду кобальту КНП економічно недоцільна.

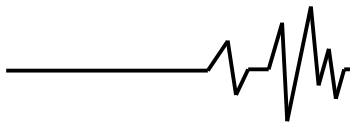
Закономірності, що спостерігаються, вірогідно, можна пояснити зміною розмірів «катодної плями», утвореної факелом плазмового розряду на поверхні розчину в плазмохімічному реакторі. Як відомо, поверхня розподілу фаз «рідина-газ» в плазмохімічному реакторі виступає в якості біполярного електрода, зовнішня частина якого слугує катодом, а внутрішня частина приповерхневого шару рідкої фази – анодом. Очевидно, що інтенсивність плазмохімічних процесів повинна визначатися площею біполярного електрода, так як саме в цій зоні розчину реалізується більшість хімічних перетворень, що викликаються потоками заряджених часток плазми. В ході проведення експериментів по вимірюванню площі "катодної плями" було встановлено, що варіювання сили струму

плазмового розряду впливає на його розміри (рис. 3).



**Рис. 3.** Залежність площі катодної плями від сили струму в ланцюзі при відстані між поверхнею розчину і анодом 3 (1), 5 (2), 7 (3), 8 (4), 10 (5) мм

Також було встановлено, що крім сили струму плазмового розряду площу "катодної плями" визначає відстань від анода до поверхні розчину. Отриману закономірність можна пояснити зміною швидкості процесу генерування іонізованих часток в газовій фазі. Очевидно, що чим вище число електронів і



молекул в газовій фазі, тим більше буде число ефективних зіткнень, що призводять до іонізації часток і випромінення у видимому діапазоні електромагнітного спектра. По мірі зростання числа електронів і постійному тиску в плазмохімічному реакторі (тобто при постійній концентрації молекул) швидкість генерації іонів досягне деякого граничного значення. При цьому, чим менше відстань між електродами, тим менше число молекул газової фази буде задіяно в плазмовому розряді і менше число іонізованих часток буде розсіюватися по мірі їх переміщення від анода до катода. Збільшення ефективності процесу одержання оксиду кобальту можливо за рахунок збільшення щільності струму в ланцюзі і за умови поширення факела плазми (тобто катодного плями) на всю поверхню розчину в реакторі.

Наразі відомі способи одержання оксиду кобальту із застосуванням в якості окиснювача ряду окисників: гідроген пероксид, гіпохлорид натрію [15] тощо. Враховуючи, що визначаючим фактором утворення оксиду кобальту є формування окисних сполук в плазмохімічно оброблюваному середовищі, досліджено спосіб отримання кисневмісних сполук кобальту, що полягає у проведенні гідролізу хлориду

кобальту водним розчином гідроксиду натрію, з подальшим додаванням до отриманої дисперсії пероксиду водню.

Було отримано залежності величини рН дисперсійного середовища і оптичної щільності синтезованих дисперсій від мольного співвідношення  $[H_2O_2]/[Co^{2+}]$  (рис. 4). Видно, що оптична густина синтезованих дисперсій має не однаковий характер: при  $[H_2O_2]/[Co^{2+}]$  0,5 моль/моль планомірно збільшується при підвищенні співвідношення; для значень 1,0–1,5 моль/моль зростає, проходить через максимум та зменшується. Проте, слід зазначити, що спільним для всіх досліджуваних систем є наявність постійного значення "плато" з ростом мольного співвідношення  $[H_2O_2]/[Co^{2+}]$ . Сталість значень оптичної густини свідчить про те, що завершення реакції, і подальше збільшення мольного співвідношення реагентів не впливає на формування часток. З отриманими даними узгоджуються і результати визначення величини рН дисперсій від мольного співвідношення реагентів (рис. 4 (б)), які свідчать, що мінімальне значення величини рН дисперсійного середовища знаходиться в діапазоні сталих значень оптичної густини.

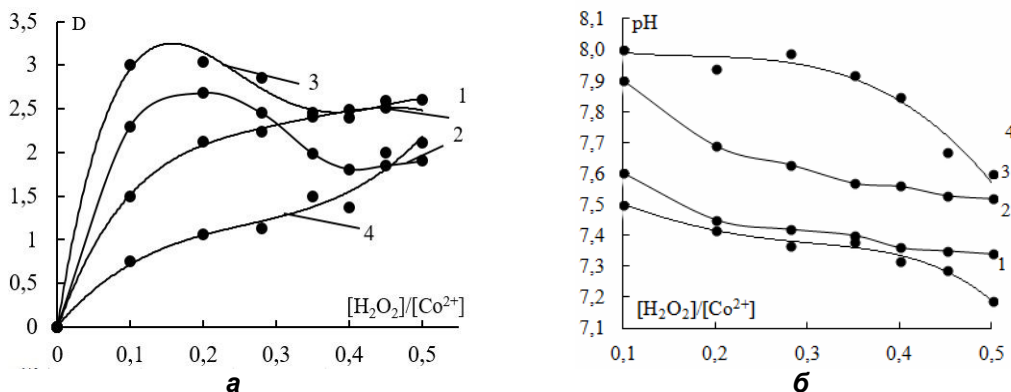
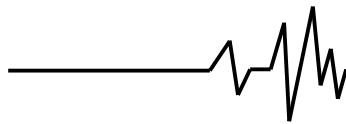


Рис. 4. Залежність оптичної густини (а) та рН (б) від мольного співвідношення реагентів хімічного способу одержання кисневмісних сполук кобальту та початкової концентрації кобальту: 1 – 0,5 г/л; 2 – 1,0 г/л; 3 – 1,5 г/л; 4 – 2,5 г/л

Фазовий склад сполук кобальту, одержаних із застосуванням гідроген пероксиду було досліджено за допомогою рентгеноструктурного аналізу. Фазовий склад отриманого продукту представлено оксидом кобальту структури  $Co_3O_4$  та  $CoOON$ . За даними мікроскопічного аналізу встановлено, що розміри отриманих сполук кобальту варіюються в діапазоні 70–150 нм. Попередніми дослідженнями авторів встановлено, що основною фазою, в результаті плазмохімічного одержання кисневмісних сполук є оксид кобальту структури  $Co_3O_4$  з розмірними параметрами утворених часток 10–60 нм.

В роботі [14] авторів наведено кількісні дані утворених окисних сполук (пероксиду водню та кисневмісних сполук хлору) під дією КНП розчинів натрію хлориду. Очевидно, що наведені значення синтезованих окисників при одержанні оксиду кобальту відрізняються. Проте приблизний розрахунок співвідношення  $[H_2O_2]/[Co^{2+}]$  та  $[ClO_2^-]/[Co^{2+}]$  під час плазмохімічного одержання оксиду кобальту свідчить, що їх кількість в рази менша, за необхідну при здійсненні традиційного осадження із застосування відповідних реагентних складових.



Порівняння часових інтервалів, витрати реагентів та розмірних параметрів отриманого оксиду кобальту, свідчать про ефективність плазмохімічного способу одержання порівняно з традиційним осадженням із застосуванням гідроген пероксиду.

**Висновки.** В результаті проведення дослідження встановлено закономірності впливу сили струму плазмового розряду на одержання оксиду кобальту. Встановлено, що сила струму в ланцюзі в процесі плазмового впливу на розчини гідроксиду кобальту для формування оксиду кобальту є фактором, що впливає на вихід цільового продукту: підвищення значення сили струму до 220 мА та тривала обробка розчинів гідроксиду кобальту КНП економічно недоцільна. Збільшення ефективності процесу одержання оксиду кобальту можливо за рахунок збільшення щільності струму в ланцюзі і за умови поширення факела плазми (тобто катодної плями) на всю поверхню розчину в реакторі. Отримані дані дозволяють проводити цілеспрямований вибір таких технологічних параметрів плазмової обробки водних розчинів гідроксиду кобальту для одержання оксиду кобальту, як тривалість розряду, сила струму в ланцюзі, площа катодної плями і відстань між анодом і поверхнею рідини в реакторі. Здійснено порівняння ефективності плазмохімічного способу одержання порівняно з традиційним осадженням із застосуванням гідроген пероксиду.

#### Список використаних джерел

1. S. Sakamoto, M. Yoshinaka, K. Hirota, O. Yamaguchi. Fabrication, Mechanical Properties, and Electrical Conductivity of  $\text{Co}_3\text{O}_4$  Ceramics // *Journal of the American Ceramic Society*, Vol. 80, Iss. 1, 1997, pp. 267 – 268.
2. Young-JI Jang, Haifeng Wang, Yet-Ming Chiang. Room-temperature synthesis of monodisperse mixed spinel  $(\text{Co}_x\text{Mn}_{1-x})_3\text{O}_4$  powder by a coprecipitation method // *Journal of Materials Chemistry*, Vol. 8, Iss. 12, 1998, pp. 2761 – 2764.
3. M. E. Baydi, G. Poillerat, J. Rehspringer. A Sol-Gel Route for the Preparation of  $\text{Co}_3\text{O}_4$  Catalyst for Oxygen Electrocatalysis in Alkaline Medium // *Journal of Solid State Chemistry*, Vol. 109, Iss. 2, 1994, pp. 281 – 288.
4. Do Youp Kim, Seo Hee Ju, Hye Young Koo, Seung Kwon Hong, Yun Chan Kang. Synthesis of nanosized  $\text{Co}_3\text{O}_4$  particles by spray pyrolysis // *Journal of Alloys and Compounds*, Vol. 417, Iss. 1-2, 2006, pp. 254 – 258.
5. Y. Ni, X. Ge, Z. Zhang, H. Liu, Z. Zhu, Q. Ye. A simple reduction-oxidation route to prepare  $\text{Co}_3\text{O}_4$  nanocrystals // *Materials Research Bulletin*, Vol. 36, Iss. 13-14, 2001, pp. 2383 - 2387.

6. R. V. Kumar, Y. Diamant, A. Gedanken. Sonochemical Synthesis and Characterization of Nanometer-Size Transition Metal Oxides from Metal Acetates // *Chemistry of Materials*, Vol. 12, Iss. 8, 2000, pp. 2301 – 2305.

7. Genki Saito, Tomohiro Akiyama. Nanomaterial Synthesis Using Plasma Generation in Liquid // *Journal of Nanomaterials*, Vol. 2015 (2015), Article ID 123696, 21 pages.

8. B. Sun, M. Sato, J. S. Clements. Optical study of active species produced by a pulsed streamer corona discharge in water // *Journal of Electrostatics*, Vol. 39, No. 3, 1997, pp. 189 – 202.

9. P. Bruggeman, T. Verreycken, M. A. Gonz'alez. Optical emission spectroscopy as a diagnostic for plasmas in liquids: opportunities and pitfalls // *Journal of Physics D: Applied Physics*, Vol. 43, No. 12, Article ID 124005, 2010.

10. T. Kaneko, K. Baba, R. Hatakeyama. Static gas-liquid interfacial direct current discharge plasmas using ionic liquid cathode // *Journal of Applied Physics*, Vol. 105, No. 10, Article ID 103306, 2009.

11. P. Jamroz, K. Greda, P. Pohl. Development of directcurrent, atmospheric-pressure, glow discharges generated in contact with flowing electrolyte solutions for elemental analysis by optical emission spectrometry // *Trends in Analytical Chemistry*, Vol. 42, 2012, pp. 105 – 121.

12. Пивоваров, О. А. Використання контактної нерівноважної низькотемпературної плазми в гідрометалургійній промисловості: монографія / О. А. Пивоваров, М. І. Скиба. – Дніпропетровськ: Акцент ПП, 2015. – 206 с.

13. Пивоваров А.А., Тищенко А.П. Неравновесная плазма: процессы активации воды и водных растворов: монография. – Днепропетровск: Грек, 2006. – 225 с.

14. Николенко Н. В. Кинетический анализ химических превращений в «активированных» плазмой водных растворах хлорида натрия / Н.В. Николенко, Р.И. Захаров, А.Н. Калашникова, А.А. Пивоваров // *Вопросы химии и хим. технологии*. – 2012. № 5. – С. 138–146.

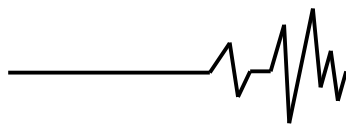
15. St. G Christoskova. Preparation and characterization of a higher cobalt oxide // *Materials Chemistry and Physics*, Vol. 60, Iss. 1, 1999, pp. 39–43.

#### Список джерел у транслітерації

1. S. Sakamoto, M. Yoshinaka, K. Hirota, O. Yamaguchi. Fabrication, Mechanical Properties, and Electrical Conductivity of  $\text{Co}_3\text{O}_4$  Ceramics // *Journal of the American Ceramic Society*, Vol. 80, Iss. 1, 1997, pp. 267 – 268.

2. Young-JI Jang, Haifeng Wang, Yet-Ming Chiang. Room-temperature synthesis of monodisperse mixed spinel  $(\text{Co}_x\text{Mn}_{1-x})_3\text{O}_4$  powder





by a coprecipitation method // Journal of Materials Chemistry, Vol. 8, Iss. 12, 1998, pp. 2761 – 2764.

3. M. E. Baydi, G. Poillerat, J. Rehspringer. A Sol-Gel Route for the Preparation of  $\text{Co}_3\text{O}_4$  Catalyst for Oxygen Electrocatalysis in Alkaline Medium // Journal of Solid State Chemistry, Vol. 109, Iss. 2, 1994, pp. 281 – 288.

4. Do Youp Kim, Seo Hee Ju, Hye Young Koo, Seung Kwon Hong, Yun Chan Kang. Synthesis of nanosized  $\text{Co}_3\text{O}_4$  particles by spray pyrolysis // Journal of Alloys and Compounds, Vol. 417, Iss. 1-2, 2006, pp. 254 – 258.

5. Y. Ni, X. Ge, Z. Zhang, H. Liu, Z. Zhu, Q. Ye. A simple reduction-oxidation route to prepare  $\text{Co}_3\text{O}_4$  nanocrystals // Materials Research Bulletin, Vol. 36, Iss. 13-14, 2001, pp. 2383 - 2387.

6. R. V. Kumar, Y. Diamant, A. Gedanken. Sonochemical Synthesis and Characterization of Nanometer-Size Transition Metal Oxides from Metal Acetates // Chemistry of Materials, Vol. 12, Iss. 8, 2000, pp. 2301 – 2305.

7. Genki Saito, Tomohiro Akiyama. Nanomaterial Synthesis Using Plasma Generation in Liquid // Journal of Nanomaterials, Vol. 2015 (2015), Article ID 123696, 21 pages.

8. B. Sun, M. Sato, J. S. Clements. Optical study of active species produced by a pulsed streamer corona discharge in water // Journal of Electrostatics, Vol. 39, No. 3, 1997, pp. 189 – 202.

9. P. Bruggeman, T. Verreycken, M. A. Gonz'alez. Optical emission spectroscopy as a diagnostic for plasmas in liquids: opportunities and pitfalls // Journal of Physics D: Applied Physics, Vol. 43, No. 12, Article ID 124005, 2010.

10. T. Kaneko, K. Baba, R. Hatakeyama. Static gas-liquid interfacial direct current discharge plasmas using ionic liquid cathode // Journal of Applied Physics, Vol. 105, No. 10, Article ID 103306, 2009.

11. P. Jamroz, K. Greda, P. Pohl. Development of directcurrent, atmospheric-pressure, glow discharges generated in contact with flowing electrolyte solutions for elemental analysis by optical emission spectrometry // Trends in Analytical Chemistry, Vol. 42, 2012, pp. 105 – 121.

12. Pivovarov, O. A. Vykorystannja kontaktnoi' nerivnovazhnoi' nyz'kotemperaturnoi' plazmy v gidrometalurgijnij promyslovosti: monografija / O. A. Pivovarov, M. I. Ckiba. – Dnipropetrovs'k: Akcent PP, 2015. – 206 s.

13. Pivovarov A.A., Tishhenko A.P. Neravnovesnaja plazma: processy aktivacii vody i vodnyh rastvorov: monografija. – Dnepropetrovsk: Grek, 2006. – 225 s.

14. Nikolenko N. V. Kineticheskij analiz himicheskij prevrashhenij v «aktivirovannyh» plazmoy vodnyh rastvorah hlorida natrija / N. V.

Nikolenko, R. I. Zaharov, A. N. Kalashnikova, A. A. Pivovarov // Voprosy himii i him. tehnologij. – 2012. № 5. – S. 138 – 146.

15. St. G Christoskova. Preparation and characterization of a higher cobalt oxide // Materials Chemistry and Physics, Vol. 60, Iss. 1, 1999, pp. 39 – 43.

#### ПОЛУЧЕНИЕ ОКСИДА КОБАЛЬТА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РАЗРЯДА НЕРАВНОВЕСНОЙ ПЛАЗМЫ

**Аннотация.** В работе рассмотрено получение оксида кобальта из водного раствора его гидроксида с использованием контактной неравновесной низкотемпературной плазмы, по сравнению с традиционным методом осаждения перекисью водорода. Установлено влияние концентрации прекурсора на получение соединений оксида кобальта. Показано, что сила тока в цепи, в процессе воздействия плазмы на раствор гидроксида кобальта, для формирования его оксида, влияет на выход окислительных соединений и целевого продукта. Приведены закономерности влияния силы тока разряда плазмы на получение оксида кобальта. Определен фазовый состав и размер частиц полученного оксида кобальта с помощью рентгеноструктурного и электронно-микроскопического анализа соответственно, которые подтверждают получение наноразмерных соединений  $\text{Co}_3\text{O}_4$ .

**Ключевые слова:** получение, оксид кобальта, разряд, неравновесная плазма, сила тока, перекись водорода.

#### PREPARATION OF COBALT OXIDE USING DISCHARGE OF NON-EQUILIBRIUM PLASMA

**Annotation.** The results of research work shows obtaining cobalt oxide from his hydroxide water solutions with using contact non-equilibrium low temperature plasma compared with traditional method deposition with hydrogen peroxide. The impact initial concentration sample for obtaining oxide cobalt solutions were investigated. It shows the current in the circuit affects on the output oxidizing compounds and the desired product, in the plasma exposure on the solution of cobalt hydroxide to form his oxide. The regularities of influence of the current plasma discharge for obtaining cobalt oxide. The phase composition and particle size of the cobalt oxide were investigated by X-ray and electron microscopy analysis, respectively, which confirm the receipt of nanosized compounds  $\text{Co}_3\text{O}_4$ .

**Key words:** preparation, cobalt oxide, discharge, non-equilibrium plasma, the current, hydrogen peroxide.