

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

НЕНАСТІНА ТЕТЯНА ОЛЕКСАНДРІВНА

УДК 621.35

ДИСЕРТАЦІЯ
ЕЛЕКТРОЛІТИЧНІ СПЛАВИ І КОМПОЗИТИ НА ОСНОВІ
КОБАЛЬТУ З ТУГОПЛАВКИМИ МЕТАЛАМИ ДЛЯ ЕКО- І
ЕНЕРГОТЕХНОЛОГІЙ

05.17.03 – технічна електрохімія
(16 – хімічна та біоінженерія)

Подається на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

Тетяна НЕНАСТІНА

Науковий консультант –
ВЕДЬ Марина Віталіївна,
доктор технічних наук, професор

Харків 2021

АНОТАЦІЯ

Ненастіна Т.О. Електролітичні сплави і композити на основі кобальту з тугоплавкими металами для еко- і енерготехнологій. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.17.03 – технічна електрохімія (16 –Хімічна та біоінженерія). – Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків, 2021.

Об'єкт дослідження – хімічні реакції в об'ємі електроліту та електрохімічні процеси на межі фаз при спільному осадженні кобальту з вольфрамом, молібденом і цирконієм у сплав або композиційні покритви.

Предмет дослідження – закономірності і технологічні параметри катодного осадження покриттів на основі кобальту з тугоплавкими металами з комплексних полілігандних електролітів, функціональні властивості покриттів.

Дисертацію присвячено розробці наукових основ електрохімічної технології покриттів сплавами і композитами на основі кобальту з тугоплавкими металами як матеріалів для еко- і енерготехнологій. В основу роботи покладено *гіпотезу* осадження з розчинів електролітів наноконпозиційних багатокомпонентних покриттів зі зміцнювальною фазою, яка утворюється *in situ* в електродному процесі, завдяки чому рівномірно розподіляється у зростаючому шарі покритву.

Визначено склад і константи нестійкості цитратних, пірофосфатних та цитратно-пірофосфатних комплексів сплавотвірних металів, а також систем $\text{Co}^{2+}\text{-WO}_4^{2-}(\text{MoO}_4^{2-})$, $\text{Co}^{2+}\text{-WO}_4^{2-}(\text{MoO}_4^{2-})\text{-P}_2\text{O}_7^{4-}$, $\text{Co}^{2+}\text{-WO}_4^{2-}(\text{MoO}_4^{2-})\text{-Cit}^{3-}$ дозволили встановити концентраційні співвідношення катіонів кобальту, цирконію, оксометалатів і лігандів, що стало основою розробки екологічних електролітів осадження сплавів і композитів на основі кобальту з

тугоплавкими металами.

Визначено комплекс кінетичних критеріїв, на підставі яких обґрунтовано механізм співосадження металів у покриття Co-Mo-W/Co-Mo-WO_x, Co-Mo-Zr/Co-Mo-ZrO₂, Co-W-Zr/Co-W-ZrO₂, як сукупність послідовних і спряжених реакцій за участю моно- і білігандних комплексів та ад-атомів водню, та запропоновано узагальнену схему формування КЕП з цитратно-пірофосфатних електролітів. Запропоновано узагальнену схему співосадження кобальту з вольфрамом та/або молібденом і цирконієм у сплави і композити, що враховують іонні реакції гідролізу, утворення комплексів і поліаніонів, що перебігають у розчині за участю кобальту, цирконію, цитрату, пірофосфату і оксоаніонів MoO₄²⁻ (WO₄²⁻). Встановлено, що відновлення оксометалатів відбувається стадійно через утворення оксидів вольфраму(молібдену) змінної валентності з можливим подальшим їх як електрохімічним, так і хімічним відновленням ад-атомами водню. Включення оксидів цирконію в склад покриттів відбувається за рахунок гідролізу і утворення оксосолі.

На підставі опрацювання складів електролітів та дослідження параметрів режимів електроосадження, показано, що покриття на основі кобальту Co-Mo-ZrO₂, Co-W-ZrO₂, осажені на постійному струмі, містять до 0,7 мас.% цирконію, покриття Co-Mo-WO_x – до 24 мас.% тугоплавких компонентів. Доведено, що використання імпульсного струму забезпечує збагачення покриттів молібденом, вольфрамом і цирконієм при зменшенні вмісту кисню. Встановлено, що відновлення тугоплавких металів у покриття Co-W-ZrO₂ і Co-Mo-WO_x, на відміну від Co-Mo-ZrO₂, відбувається конкурентно. Визначено оптимальні інтервали густини струму 5–8 А/дм² і частоту імпульсів на рівні 88–90 Гц Co-W-ZrO₂ Co-Mo-ZrO₂ і Co-Mo-WO_x.

Показано, що цирконій викликає підвищення шорсткості поверхні покриттів (*Ra*), що пов'язано із включенням відповідних оксидів до композиційного покриття, а вольфрам сприяє зниженню *Ra* і згладжуванню рельєфу поверхні за рахунок вбудовування в заглиблення поверхневого

шару. Доведено підвищення мікротвердості покриттів відносно показників окремих компонентів, причому найвищий показник мають системи Co-Mo-WO_x (до 1100 кг/мм²), для Co-Mo-ZrO₂ і Co-W-ZrO₂ мікротвердість складає до 550 кг/мм². Підвищення температури забезпечують вищу мікротвердість покриттів, порівняно з кімнатною режимом, за рахунок збільшення вмісту тугоплавких компонентів.

Із застосуванням лінійної вольтамперометрії, спектроскопії електродного імпедансу та гравіметрії встановлено, що найвищу корозійну стійкість у кислому середовищі виявляє система Co-Mo-WO_x, тоді як покриття Co-Mo-ZrO₂ і Co-W-ZrO₂ є більш стійкими у лужному і нейтральному середовищі. Покриттям сплавами Co-Mo-WO_x, Co-Mo-ZrO₂, Co-W-ZrO₂ притаманна висока хімічна і корозійна стійкість у лужних середовищах. За значенням глибинного показника корозії вони можуть бути віднесені за десятибальною шкалою до вельми стійких.

Встановлено закономірності катодного виділення водню на композиційних електролітичних покриттях Co-Mo-WO_x, Co-Mo-ZrO₂ і Co-W-ZrO₂. Визначено кінетичні параметри реакції виділення водню на означених тонко плівкових матеріалах – кутові коефіцієнти тафелевських залежностей, коефіцієнти перенесення, струми обміну. На підстав аналізу кінетичних закономірностей запропоновано механізм виділення водню.

Досліджено кінетику анодного окиснення метанолу на електродах з композиційними покриттями Co-Mo-WO_x, Co-Mo-ZrO₂ і Co-W-ZrO₂ і виявлено участь проміжних оксидів металів в перенесенні кисню. Циклічні вольтамперограми показують, що покриття Co-Mo-ZrO₂ характеризуються найвищою стабільністю при анодній поляризації завдяки включенню до їх складу оксидів молибдену і цирконію.

Дослідження анодної поведінки електродів з композиційними покриттями Co-Mo-WO_x, Co-Mo-ZrO₂ і Co-W-ZrO₂ свідчать про участь проміжних оксидів компонентів КЕП у реакції окиснення етанолу в лужному середовищі. За величиною піку анодної густини струму встановлено, що

серед досліджених композитів найвищу електрокаталітичну активність в реакції окиснення етанолу виявляють вольфрамвмісні композиційні покриття Co-Mo-WO_x. Такі каталітичні властивості можна пояснити наявністю оксидів тугоплавких металів, яким притаманні змінні стани окиснення та донорно-акцепторна здатність щодо кисню.

Показано, що контактні маси композиційних покриттів Co-Mo-WO_x, Co-Mo-ZrO₂ і Co-W-ZrO₂ володіють високою фотокаталітичною активністю в реакції деструкції метилового оранжевого під дією ультрафіолетового опромінення, причому покриття Co-Mo-WO_x мають більш високу каталітичну активність в порівнянні з композиційними покриттями Co-Mo-ZrO₂ і Co-W-ZrO₂, і можуть бути порівнянні з конверсійними покриттями на основі оксиду титану.

Розроблено варіативну технологічну схему електроосадження сплавів та композитів на основі кобальту з тугоплавкими металами Co-W-ZrO₂, Co-Mo-ZrO₂, Co-Mo-WO_x, які дозволяють осаджувати як тонкоплівкові матеріали цільового призначення, так і синергетичні матеріали з комплексною реалізацією в поверхневих шарах підвищених фізико-механічних і фізико-хімічних властивостей.

Результати дослідно-промислових випробувань експериментальних виробів з розробленими композиційними покриттями і складів електродів на підприємствах АТ «Харківський тракторний завод» і ТОВ «НВФ ДКБ ХМ» («Науково виробнича фірма дослідне конструкторське бюро холодильних машин») довели ефективність технологій і високий рівень функціональних властивостей одержаних матеріалів. Результати впроваджено у навчальний процес кафедри фізичної хімії НТУ ХП і кафедри технології дорожньо-будівельних матеріалів і хімії ХНАДУ.

Ключові слова: кобальт, електрохімічний синтез, сплави, тугоплавкі метали, композиційні електродні покриття, каталітичні матеріали, полілігандні комплекси, корозійна стійкість, мікротвердість, варіативна схема.

СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ:

1. Ненастіна Т. О. Гальванохімічне формування багатокомпонентного сплаву кобальта та тугоплавких металів / [Ю. К. Гапон, Т. О. Ненастіна, М. Д Сахненко., М. В. Ведь] // Перспективні матеріали та процеси в технічній електрохімії: монографія/ за заг. ред. В.З. Барсукова. – Київ: КНУДТ, 2016. – С. 117–121.
2. Nenastina T. A. Nanostructured Functional Coatings of Iron Family Metals with Refractory Elements / [М. V. Ved', N. D. Sakhnenko, I. Y. Yermolenko, T. A. Nenastina] // Nanochemistry, Biotechnology, Nanomaterials, and Their Applications: collective monograf. Chernivtsi: Springer, 2017. – Vol. 214. – P 3-34.
3. Nenastina T. A. Electrochemical deposition of Co-Mo-W and Co-Mo-Zr coatings from complex electrolytes / T. A. Nenastina, M. V. Ved', V. O. Proskurina, S. I. Zyubanova // Promising Materials and Processes in Applied Electrochemist: Monograph / editor-in-chief V. B. Barsukov. – Kyiv, 2019. – P. 60-66.
4. Nenastina T. Composition Electrolytic Coatings with Given Functional Properties / [G. Yar-Mukhamedova, M. Ved', N. Sakhnenko, T. Nenastina] // monograph, 2019. P. 93-109. doi: 10.5772/intechopen.84519.
5. Nenastina T. O. Corrosion and electrochemical properties of binary cobalt and nickel alloys / [M. V. Ved', T. O. Nenastina, V. V. Shtefan, T. M. Bairachna, M. D. Sakhnenko] // Materials Science. – 2008. – Vol. 44. – No. 6. – P. 840–843.
6. Nenastina T. A. Functional coatings of ternary alloys of cobalt with refractory metals / [N. D. Sakhnenko, M.V. Ved, Yu. K. Hapon, T. A. Nenastina] // Russian Journal of Applied Chemistry. – 2015. – Vol. 88. – No. 12. – P. 1941–1945.
7. Nenastina T. Electrodeposition and properties of binary and ternary cobalt alloys with molybdenum and tungsten / [G. Yar-Mukhamedova, M. Ved',

N. Sakhnenko, T. Nenastina] // Applied Surface Science. – 2018. – № 445. – P. 298 – 307.

8. Nenastina T. A. Influence of the Contents of Refractory Components on the corrosion Resistance of ternary alloys Based on Iron and Cobalt / [Yu. I. Sachanova, I. Yu. Ermolenko, M. V. Ved, M. D. Sakhnenko, T. A. Nenastina, G. Yar-Mukhamedova] // Materials Science. – 2019. – Vol. 54. – No. 4. – P. 556–566.

9. Nenastina T. A. ANN simulation of nanocomposites Fe(Co)-W corrosion resistance / G. Yar-Mukhamedova, M. V. Ved', N. D. Sakhnenko, T. A. Nenastina, M. N. Volobuyev // Proceedings 19th International multidisciplinary scientific geoconference. – 2019. – P. 19-26.

10. Nenastina T. A. Cobalt based coatings as catalysts for methanol oxidation / [T. A. Nenastina, M. V. Ved', N. D. Sakhnenko, I. Y. Yermolenko, M. M. Volobuyev, V. O. Proskurina] // Functional Materials. – 2020. – Vol. 27. – No. 1. – P. 107-116.

11. Nenastina T. A. Galvanochemical formation of functional coatings by alloys cobalt-tungsten doped with zirconia / [T. A. Nenastina, M. V. Ved', N. D. Sakhnenko, V. O. Proskurina, L. P. Fomina] // Functional Materials. – 2020. – Vol. 27. – No. 2. – P. 348–353.

12. Nenastina T. A. Дослідження композитних сплавів кобальту для реакції анодного окиснення етанолу / [Т. А. Ненастіна, М. В. Вед', Н. Д. Сакхненко, В. О. Прокуріна] // Питання хімії та хімічної технології. – 2020. – No. 4. – P. 106-114.

13. Ненастіна Т. О. Корозійні та каталітичні властивості гальванічних бінарних сплавів d^{6-8} металів / [М. В. Ведь, М. Д. Сахненко, Т. О. Ненастіна, Т. М. Байрачна, С. О. Корній] // Фізико-хімічна механіка матеріалів. – 2008. Спецвипуск № 7. – С.346 – 350.

14. Ненастіна Т. О. Функціональні покриття сплавами d^{4-8} елементів / [М. В. Ведь, М. Д. Сахненко, В. В. Штефан, Т. О. Ненастіна, Т. М. Байрачна,

С. Г. Желавський] // Вісник НТУ "ХП". Серія: Хімія, хімічні технології та екологія. – 2008. – №15. – С.25–31.

15. Ненастина Т. А. Особенности кинетики сплавообразования металлов подгруппы железа / [В. О. Савченко, Т. О. Ненастина, М. В. Ведь, М. Д. Сахненко, Т. В. Школьнікова, Т. А. Илляшенко] // Вісник Національного технічного університету "ХП". Серія: Хімія, хімічні технології та екологія. – 2008. – № 32. – С. 143–147.

16. Ненастина Т. О. Электролитические каталитические покрытия сплавами d^{4-8} металлов / [М. В. Ведь, М. Д. Сахненко, Т. М. Байрачна, Т. О. Ненастина] // Энерготехнологии и ресурсосбережение. – 2008. – № 4. – С.37 – 43.

17. Ненастина Т. А. Экологические аспекты гальванохимических процессов нанесения покрытий сплавами тугоплавких металлов / [Ю. К. Гапон, М. В. Ведь, Н. Д. Сахненко, Т. А. Ненастина] // Экология и промышленность. – 2014. – Т. 2. – С. 74–77.

18. Ненастина Т. А. Ресурсосберегающая технология электрохимического осаждения тернарных сплавов кобальта с тугоплавкими компонентами / [Ю. К. Гапон, М. В. Ведь, Н. Д. Сахненко, Т. А. Ненастина, Ю. И. Долженко] // Інтегровані технології та енергозбереження. – 2014. – № 4. – С. 38–42.

19. Ненастина Т. А. Закономерности образования комплексов кобальта (II) / [Ю. К. Гапон, Т. А. Ненастина, Н. Д. Сахненко, М. В. Ведь] // Вісник Національного технічного університету «ХП». Серія: Хімія, хімічна технологія і екологія. – 2014. – №51 (1093). – С. 136–140.

20. Nenastina T. Functional coatings by ternary cobalt based alloys for the automobile industry / [T. Nenastina, Ju. Hapon, M. Glushkova, N. Sakhnenko, M. Ved'] // Автомобильный транспорт. – 2015.– No. 36. – P. 34–41.

21. Ненастина Т. А. Экологические аспекты формирования многокомпонентными покрытиями сплавами кобальта / [Т. А. Ненастина, М. А. Глушкова, М. В. Ведь, Н. Д. Сахненко] // Вісник Харківського

Національного автомобільно-дорожнього університету. – 2015. – №. 70. – С. 69–75.

22. Ненастина Т. А. Электроосаждение тройных сплавов кобальта с тугоплавкими металлами / [М. В. Веды, Н. Д. Сахненко, Ю. К. Гапон, Т. А. Ненастина] // Гальванотехника и обработка поверхности. – 2016. – №1. – С. 14–21.

23. Nenastina T. Influence of alloying elements on corrosion-mechanic properties of multi-component electrolytic alloys / [M. Ved', I. Yermolenko, T. Nenastina, S. Ziubanova] // Фізико-хімічна механіка матеріалів. – 2018. – Спецвипуск №12. – С.85-89.

24. Ненастина Т. О. Властивості композиційних електрохімічних покриттів модифікованих діоксидом цирконію / [М. Д. Сахненко, М. В. Веды, В. В. Овчаренко, В. О. Проскуріна, Т. О. Ненастина] // Вісник НТУ «ХПІ» Серія: Інноваційні дослідження у наукових роботах студентів. – 2018. – №18 (1294). – С.80-84.

25. Ненастина Т. А. Электрокаталитическое окисление метанола на тернарных сплавах кобальта / [Т. А. Ненастина, М. В. Веды, Н. Д. Сахненко, В. О. Проскуріна, И. Ю. Ермоленко] // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Хімія, хімічна технологія та екологія. – 2018. – №39 (1315). – С.65-69.

26. Ненастина Т. О. Функціональні тернарні сплави кобальту / [Ненастина Т.О., Веды М.В., Сахненко М.Д., Проскуріна В.О.] // Вісник Харківського Національного автомобільно-дорожнього університету. – 2019. – Вип.86. – Т.1. – С.49–54.

27. Ненастина Т.О., Электрохімічне формування композиційних покриттів сплавами кобальту в імпульсному режим / [Т. О. Ненастина, М. В. Веды, М. Д. Сахненко, В. О. Проскуріна] // Вісник Національного технічного університету "ХПІ". Серія: Нові рішення в сучасних технологія. – 2020. – № 1(3). – С.84–94..

28. Ненастина Т. О. Состав і морфологія поверхні композиційних електролітичних покриттів Co-W-ZrO_2 / Т. О. Ненастина, М. В. Веды,

В. О. Проскуріна // Вісник Національного технічного університету "ХПІ". Серія: Хімія, хімічна технологія та екологія. – 2020. – № 1. – С.12–18.

29. Ненастіна Т. О. Варіювання режимів електролізу – універсальний метод керування складом гальванічних покриттів / [Ю. І. Сачанова, М. Д. Сахненко, М. В. Ведь, Т. О. Ненастіна, В. О. Проскуріна] // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Хімія, хімічна технологія та екологія. – 2020. – № 1. – С.23–28.

30. Ненастіна Т. О. Вплив морфології поверхні композиційних електролітичних покриттів Co-W-ZrO₂ на функціональні властивості сплавів / [Т. О. Ненастіна, М. В. Ведь, М. Д. Сахненко, С. І. Зюбанова] // Вісник Національного технічного університету "ХПІ". Серія: нові рішення в сучасних технологіях. – 2020. – № 2(4). – С.110–118.

31. Ненастіна Т. А. Влияние условий электролиза на состав и микротвердость покрытий тройными сплавами кобальта / [Т. А. Ненастіна, М. В. Ведь, Н. Д. Сахненко, В. О. Проскуріна] // Электронная обработка материалов. – 2020. – №1(27). – С. 1–8.

32. Ненастіна Т. О. Електродні матеріали для водневої енергетики / [Т. О. Ненастіна, М. В. Ведь, М. Д. Сахненко, С. І. Зюбанова, І. А. Черепньова] // Інженерія природокористування. – 2020. – №1(15). – С. 6-12.

33. Nenastina T. Corrosion behavior of the electrolytic ternary cobalt alloys with Mo (W) and Zr in alkaline solution / [Nikolay Sakhnenko, Tatyana Nenastina, Iryna Yermolenko, Valerya Proskurina, Maksym Volobuyev] // Ukrainian Chemistry Journal. – 2019. – No 12. – P. 96–109.

34. Патент на корисну модель № 104439 Україна, МПК C25D 3/56 Електроліт для електрохімічного синтезу покриттів сплавом кобальт-молібден-вольфрам / М. Д. Сахненко, М. В. Ведь, Ю. К. Гапон, Т. О. Ненастіна; Заявник та патентовласник НТУ "ХПІ". – u 2015 08486; заяв. 31.08.2015; опубл. 25.01.2016, Бюл.№ 2.

35. Патент на корисну модель №105796 Україна, МПК C25D 3/56. Спосіб електрохімічного нанесення покриттів сплавом кобальт-молібден-вольфрам / М. Д. Сахненко, М. В. Ведь, Ю. К. Гапон, Т. О. Ненастіна; Заявник та патентовласник НТУ “ХПІ”.– № u201508335; заявл. 25.08.2015; опубл. 11.04.2016, Бюл. № 7.

36. Патент на винахід № 112040 Україна, МПК C25D 3/56/ Електроліт для електрохімічного синтезу покриттів сплавом кобальт-молібден-вольфрам / М. Д. Сахненко, М. В. Ведь, Ю. К. Гапон, Т. О. Ненастіна; Заявник та патентовласник НТУ “ХПІ”. – № а 2015 08487; заяв. 31.08.2015; опубл. 11.07.2016, Бюл.№ 13.

37. Патент на корисну модель №138263 Україна, МПК C25D 3/56. Електроліт для нанесення покриттів сплавом кобальт-вольфрам-цирконій / Т. О. Ненастіна, М. В. Ведь, М. Д. Сахненко, О.О. Овчаренко, В. О. Проскуріна; Заявник та патентовласник НТУ “ХПІ”.– № u201904633; заявл.02.05.2019; опубл. 25.11.2019, Бюл. № 22.

38. Патент на корисну модель № 141134 Україна, МПК C25D 3/56. Спосіб нанесення покриттів сплавом кобальт-вольфрам-цирконій / Т. О. Ненастіна, М. В. Ведь, М. Д. Сахненко, В.О. Проскуріна; Заявник та патентовласник НТУ “ХПІ”.– № u201908739; заявл. 19.07.2019; опубл. 25.03.2020, Бюл. № 6.

39. Патент на корисну модель № 143025 Україна, МПК C25D 3/56. Спосіб одержання композиційних покриттів на основі сплавів кобальту / Т. О. Ненастіна, М. В. Ведь, М. Д. Сахненко, В.О. Проскуріна; Заявник та патентовласник НТУ “ХПІ”.– № u201912166; заявл.23.12.2019; опубл. 10.07.2020, Бюл. № 13.

40. Nenastina T. A. Patent for utility model № 4831 МПК C25D 3/56 (2006.01) Electrolyte for application of nanodisperse coatings with cobalt-wolfram-zirconium alloy / G. Sh. Yar-Mukhamedova (KZ), A. Ye. Kemelzhanova (KZ); A. D. Muradov (KZ); N. D. Sakhnenko (UA); M. V. Ved (UA); T. A. Nenastina (UA); Patent holder: «Al-Farabi Kazakh National University»

Republican State Enterprise on the Right of Economic Management of the Ministry of Education and Science of the Republic of Kazakhstan (KZ), Publ. 04.03.2020, Bull. № 13.

41. Ненастіна Т. О.. Сплави кобальту з вольфрамом та молибденом як альтернатива екологічно небезпечним електролітичним покриттям твердим хромом / [Ю. К. Гапон, Т. О. Ненастіна, М. Д. Сахненко, М. В. Ведь] // Инновационные пути решения актуальных проблем базовых отраслей, экология, энерго- и ресурсосбережения: XXII международная научно-практическая конференция «КАЗАНТИП-ЭКО-2014», 02 – 06 июня 2014г.: материалы. – Харьков: ГП «УкрНТИЦ «Энергосталь», 2014. – Т. 2. – С.49–52.

42. Ненастіна Т. О. Визначення констант нестійкості комплексів в цитратно-пірофосфатному електроліті для нанесення тернарних сплавів кобальт-молібденівольфрам / [Ю.К. Гапон, Т.О.Ненастіна, М.Д.Сахненко, М.В. Ведь] // «Хімічні «Каразінські читання – 2014»: VI Всеукраїнська наукова конференції студентів та аспірантів, 22-24 квітня 2014 р.: тези доповіді. – Харків: ХНУ, 2014. – С. 37–38.

43. Ненастіна Т. А. Электрохимический синтез тернарных сплавов на основе кобальта / [Ю. К. Гапон, Т. А. Ненастіна, М. А. Глушкова, М. А. Козьяр, М. В. Ведь, Н. Д. Сахненко] // Хімія та сучасні технології: VII Міжнародна науково-технічна конференція студентів, аспірантів та молодих вчених, 27-29 квітня 2015 р.: тези доповідей. – Днепропетровськ: ДВНЗ «УДХТУ», 2015.-С. 123-124.

44. Кинетика электродных реакций при электроосаждении сплавов кобальта с тугоплавкими металлами / [Ю.К. Гапон, М.А. Козьяр, М. А. Глушкова, Т.А.Ненастіна, Н.Д.Сахненко, М.В. Ведь] // Научная Украина: всеукраинская студенческая научной конференции с международным участием, 25 травня 2015 р.: материалы. – Днепропетровськ, 2015. – С. 344-346.

45. Ненастина Т. А. Синтез тернарных сплавов кобальта с тугоплавкими металлами. / [Ю. К. Гапон, Т. А. Ненастина, М. А. Козяр, М. А. Глушкова, М. В. Ведь, М. Д. Сахненко] // «Хімічні Каразінські читання – 2015»: VII Всеукраїнська наукова конференція, 20–22 квітня 2015 р.: тези доп. – Харків: ХНУ, 2015. – С. 123–124.

46. Ненастина Т. А. Электроосаждение сплава Co-Mo-W на детали сложной конфигурации / [Ю. К. Гапон, Т. А. Ненастина, М. В. Ведь, Н. Д. Сахненко] // «Наукова Україна»: II Всеукраїнська наукова конференції з міжнародною участю, 23-24 травня 2016 р.: збірник статей. – Днепропетровськ, 2016.– С. 91–94.

47. Ненастина Т. О. Функціональні покриття тернарними сплавами кобальту з тугоплавкими металами / [Ю. К. Гапон, Т. О. Ненастина, М. Д. Сахненко, Ю. І. Долженко] // Сучасні проблеми електрохімії: освіта, наука, виробництво, Харків 21– 25 вересня 2015р.: збірник наукових праць. – Харків: НТУ «ХП», 2015. – С. 118–119.

48. Ненастина Т. О. Електроліти для гальваноїхімічного осадження сплавів кобальт-молибден-вольфрам / [Ю. К. Гапон, М. В. Ведь, М. Д. Сахненко, Т. О. Ненастина] // Сучасні технології у промисловому виробництві: IV Всеукраїнська міжвузівська конференція, 19-22 квітня 2016 р.: тези доповіді. – Суми: СумДУ, 2016. – С. 107–108.

49. Ненастина Т. А. Коррозионные свойства гальванических тернарных сплавов / [Т. А. Ненастина, Ю. К. Гапон, Н. Д. Сахненко, М. В. Ведь] //«Екологія. Довкілля. Молодь»: II Всеукраїнська наукова-практична інтернет конференції молодих вчених і студентів, 28-29 квітня 2016 р.: матеріали. – Полтава, 2016.-С. 40-44.

50. Ненастина Т. О. Визначення констант нестійкості комплексних сполук вольфраму / [Ю. К. Гапон, Т. О. Ненастина, М. В. Ведь, М. Д. Сахненко] // Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: XXIV міжнародна науково-практична конференція, 18-20 травня 2016 р.: тези доповідей. – Харків: НТУ «ХП», 2016. – С. 211.

51. Ненастіна Т. О. Ресурсозаощаджувальна екологічно безпечна технологія нанесення покриттів сплавом Co-Mo-W з високими функціональними властивостями / [Ю. К. Гапон, М. Д. Сахненко, М. В. Ведь, Т. О. Ненастіна] // Инновационные пути решения актуальных проблем базовых отраслей, екологія, енерго- и ресурсосбережения «КАЗАНТИП-ЭКО-2016»: XXIV международная научно-практическая конференция, 6-10 июня, 2016 г.: сб. трудов.– Харьков: УкрНТЦ «Энергосталь», 2016. – Т. 2. – С.110–115.

52. Ненастіна Т. Экологические аспекты гальванохимических процессов нанесения покрытий тройным сплавом кобальт-молибден-вольфрам / Ю. Гапон, Т. Ненастіна // Проблеми та перспективи розвитку науки на початку третього тисячоліття у країнах Європи та Азії: XXII міжнародна науково-практична конференція, 30-31 січня 2016 р.: матеріали. – Переяслав-Хмельницький, 2016. – С.22-24.

53. Ненастіна Т. А., Функціональні властивості синергетичного сплаву Co-W-Mo / [Ю. К. Гапон, Т. А. Ненастіна, М. В. Ведь, Н. Д. Сахненко] // Инновационные пути модернизации базовых отраслей промышленности, енерго- и ресурсосбережение, охрана окружающей природной среды: VI Международная научно-практическая конференция, 22–23 марта 2017 г.: труды. – Харьков: УкрНТЦ «Энергосталь», 2017. – С.195-198.

54. Ненастіна Т. А. Коррозионные свойства электролитических покрытий сплавами d^{4-8} металлов / [Ю.К. Гапон, Т.А. Ненастіна, Н.Д. Сахненко, М.В. Ведь] // Хімічні проблеми сьогодення: X Українська наукова конференція, 27-29 березня 2017 р.: тези доповідей.– Вінниця, 2017. С.195.

55. Ненастіна Т. А. Функціональні властивості покриттів сплавами кобальта / [Т. А. Ненастіна, Ю. К. Гапон, Н. Д. Сахненко, М. В. Ведь] // Авіа-2017: XIII міжнародна науково-технічна конференція, 19-21 квітня 2017 р.: матеріали. – Київ, 2017. – С.84-87.

56. Ненастина Т. А. Кінетика електрохімічного відновлення кобальту та тугоплавких металів з цитратних електролітів / [Ю. К. Гапон, Т. А. Ненастина, Н. Д. Сахненко, М. В. Ведь] // Екологічна безпека: сучасні проблеми та пропозиції: всеукраїнська науково-практична конференція, 21 квітня 2017 р.: наукові праці. – Харків, 2017. – Т.1. – С.81-86.

57. Nenastina T. A. Nanostructure architecture and nanostructure organization of sensor matrix for differential analysis of complex gas media / G. V. Kamarchuk, N. D. Sakhnenko, O. P. Pospelov, M. V. Ved, T. A. Nenastina // Nanotechnology and nanomaterials: International research and practice conference, 23-26 august 2017p.: abstract book. – Chernivtsi, 2017. – P. 786-787.

58. Ненастіна Т. Мікротвердість гальванічних покриттів на основі сплаву Co-W-Mo / [Ю. Сачанова, Ю. Гапон, Т. Ненастіна, С. Руднева, М. Сахненко, М. Ведь] // Львівські хімічні читання-2017: XVI наукова конференція, 28-31 травня 2017р.: наукові праці.– Львів, 2017. – С. С.Т7.

59. Ненастіна Т. О. Вплив вмісту тугоплавких компонентів на корозійну стійкість тернарних сплавів заліза / [Ю. І. Сачанова, Т. О. Ненастіна, І. Ю. Єрмоленко, М. В. Ведь] // Проблеми корозійно-механичного руйнування, інженерія поверхні, діагностичні системи: «КМН-2017»: відкрита науково-технічна конференція, 27-29 вересня 2017 р.: матеріали. – м. Львів, 2017 р. – С.80-83.

60. Ненастіна Т. О. Електролітичні каталітичні покриття сплавами Co-W-Mo / Т. О. Ненастіна, М. Д. Сахненко, М. В. Ведь // Екологія, неоекологія, охорона навколишнього середовища та збалансоване природокористування: V міжнародна наукова конференція, 29-30 листопада 2017р.: матеріали. – Харків: ХНУ, 2017. – С.293-294.

61. Ненастина Т. А. Электрoлитическое формирование покрытия сплавом Co-Mo-W / [Т. А. Ненастина, М. В. Ведь, Н. Д. Сахненко, В. О. Проскуріна] // Хімія, екологія та освіта: II міжнародна науково-практ. інтернет-конференція, 15-16 травня 2018 р.: зб. наукових праць. – Полтава, 2018. – С. 8-12.

62. Ненастина Т. А. Каталитические свойства электролитических покрытий сплавами d^{4-8} металлов / Т. А. Ненастина, Н. Д. Сахненко, М. В. Ведь // Хімічні проблеми сьогодення: I Міжнародна наукова конференція, 27-29 березня 2018р.: тези доповідей. – Вінниця, 2018. – С. 258.

63. Ненастина Т.О. Контроль рН розчинів гальванічних ванн / [О. О. Овчаренко, Т. О. Ненастина, В. О. Проскуріна, Т. В. Школьнікова] // Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: XXVI міжнародна науково-практична конференція, 18-20 травня 2018 р.: тези доповідей. – Харків: НТУ «ХП», 2018. – С. 277.

64. Ненастина Т. Електрокаталітичне окиснення метанолу на тернарних сплавах кобальту / [Т.Ненастина, М. Ведь, М. Сахненко, В. Проскуріна, Ю. Сачанова, С. Зюбанова] // VIII Український з'їзд з електрохімії, 4-7 червня 2018 р.: наукові праці. – Львів, 2018. – ч. 1. – С. 48-50.

65. Ненастина Т. О. Електролітичні сплави на основі кобальту / [Т. О. Ненастина, М. В. Ведь, М. Д. Сахненко, Л. П. Фоміна, В. О. Проскуріна] // Актуальні задачі хімії: дослідження та перспективи: III всеукраїнська наукова конференція, 17 квітня 2019 р.: матеріали. – Житомир: ЖДУ, 2019. – С.143-145.

66. Ненастина Т. О. Каталітична активність сплаву кобальт-молібден-цирконій / Т. О. Ненастина, М. Д. Сахненко, М. В. Ведь // Екологічна безпека: сучасні проблеми та пропозиції: наук. круглий стіл III всеукр. науково-практ. конференції, 26 квітня 2019р.: наук. праці. – Харків, 2019. – С. 179-184.

67. Nenastina T. A. Ternary cobalt based electrolytic alloys as catalytic materials for methanol oxidizing / [M. V. Ved, N. D. Sakhnenko, T. A. Nenastina, S. I. Zyubanova] // Актуальні питання хімії та інтегрованих технологій: міжнародна науково-практична конференція, 7-8 листопада, 2019р.: матеріали. – Харків: ХНУМГ, 2019. – С. 156.

68. Ненастина Т. О. Особливості електрохімічного осадження композиційних покриттів на основі кобальту / [Т. А. Ненастина, М. В. Ведь, Н. Д. Сахненко, В. О. Проскуріна] // Хімічні проблеми сьогодення: III Міжнародна наукова конференція, 25-27 березня 2020р.: тези доповідей. – Вінниця, 2020. – С. 120

ABSTRACT

Nenastina T.A. Cobalt and Refractory Metal-Based Electrolytic Alloys and Composites for Eco-and Energy Technologies. – Manuscript.

Dissertation for the Degree of the Doctor of Engineering Sciences in the Specialist of 05.17.03 – Technical Electrochemistry (16 – Chemical and Bioengineering). – National Technical University “Kharkiv Polytechnical Institute”, Kharkiv, 2021.

The object of research is chemical reactions in the electrolyte and electrochemical processes that occur at the phase interface during the co-deposition of cobalt in combination with tungsten, molybdenum and zirconium to the alloy or composite coatings.

The subject of research is the mechanisms and technological parameters of the cathode deposition of cobalt-based coatings with refractory metals from complex polyligand electrolytes and the functional properties of obtained coatings.

The thesis is devoted to the development of the scientific basics for the electrochemical coating technology using cobalt-based alloys and composites with refractory metals as the materials intended for the eco- and energy technologies. The bedrock of the thesis is the hypothesis that nanocomposite multicomponent coatings with the strengthening phase that is formed *in situ* in the electrode process can be deposited from electrolyte solutions and due to this fact this strengthening phase is uniformly distributed in the increasing layer of the coating.

The composition and instability constants of the citrate-, pyrophosphate and citrate-pyrophosphate complexes of alloy-forming metals and $\text{Co}^{2+}\text{-WO}_4^{2-}$ (MoO_4^{2-}), $\text{Co}^{2+}\text{-WO}_4^{2-}(\text{MoO}_4^{2-})\text{-P}_2\text{O}_7^{4-}$, $\text{Co}^{2+}\text{-WO}_4^{2-}(\text{MoO}_4^{2-})\text{-Cit}^{3-}$ systems were defined and these allowed us to specify the concentration ratios of cobalt-, zirconium-, oxometallite and ligand cations. The obtained data served as a basis for the development of ecological electrolytes used for the deposition of the alloys and composites based on the combination of cobalt with refractory metals.

The set of kinetic criteria was defined. Based on these criteria, we substantiated the co-deposition mechanism of the metals to Co-Mo-W/Co-Mo-WO_x, Co-Mo-Zr/Co-Mo-ZrO₂, Co-W-Zr/Co-W-ZrO₂ coatings as an aggregate of consecutive and coupled reactions with the participation of mono- and biligand complexes and hydrogen ad-atoms and we suggested the generalized scheme for the formation of composite electrolytic coatings (CEC) deposited from citrate – pyrophosphate electrolytes. The generalized scheme for the co-deposition of cobalt with tungsten and /or molybdenum and zirconium to the alloys and composites was suggested and it takes into account the ionic reactions of hydrolysis and formation of complexes and polyanions that proceed in the solution with the participation of cobalt, zirconium, citrate, pyrophosphate and MoO₄²⁻ (WO₄²⁻) oxoanions. It was established that the reduction of oxometallites has a staged behavior and it occurs through the formation of tungsten (molybdenum) oxides of a variable valence with the possibility for their subsequent electrochemical and chemical reduction by hydrogen ad-atoms. Zirconium oxides are included to the coating composition through the oxosalt formation and hydrolysis.

Based on the data obtained for processed electrolyte compositions and the studies of the parameters of electrodeposition modes, we showed that cobalt-based Co-Mo-ZrO₂, Co-W-ZrO₂ coatings deposited using the direct current include up to 0.7wt.% of zirconium and Co-Mo-WO_x coatings include up to 24wt.% of refractory components. It was proved that the use of pulsed current provides the enrichment of the coatings with molybdenum, tungsten and zirconium with a decrease in the oxygen content. It was established that in contrast to Co-Mo-ZrO₂ the reduction of refractory metal to get Co-W-ZrO₂ and Co-Mo-WO_x coatings occurs on competitive basis. Optimal current density intervals of 5–8 A/dm² and the pulse repetition rate at a level of 88 to 90Hz for Co-W-ZrO₂ Co-Mo-ZrO₂ and Co-Mo-WO_x coatings have been defined.

It was shown that zirconium accounts for an increased surface coarseness of the coatings (*Ra*) and it is related to the inclusion of appropriate oxides to composite coatings and tungsten contributes to a decrease in *Ra* and to the surface

relief smoothing through the embedding of it into the cavities of the surface layer. It was proved that the coating microhardness is increased in comparison to the values of individual components and moreover, the Co-Mo-WO_x system has the highest value (up to 1100 kg/mm²), and for Co-Mo-ZrO₂ and Co-W-ZrO₂ systems the microhardness is equal to 550kg/ mm². An increase in the temperature results in an increased microhardness of the coatings in comparison to that at room temperature due to the increased content of refractory components.

Using the linear voltammetry, spectroscopy, the electrode impedance and gravimetry we established that the Co-Mo-WO_x system shows the highest corrosion stability in the acid environment, while Co-Mo-ZrO₂ and Co-W-ZrO₂ coatings are more stable in alkaline and neutral environments. Co-Mo-WO_x, Co-Mo-ZrO₂, and Co-W-ZrO₂ alloy coatings show high chemical and corrosion resistance in alkaline environments. As for the value of the corrosion depth index, these can be attributed to very stable systems according to the ten-grade scale.

The mechanisms of the cathode release of hydrogen on composite electrolytic Co-Mo-WO_x, Co-Mo-ZrO₂ and Co-W-ZrO₂ coatings have been established. The kinetic parameters of the reaction of hydrogen release on specified thin-film materials, in particular the angle coefficients of Tafel dependences, transfer coefficients and exchange currents were defined. Based on the analysis data obtained for kinetic behaviors we suggested the hydrogen release mechanism.

The kinetics of the anode oxidation of methanol on the electrodes with composite Co-Mo-WO_x, Co-Mo-ZrO₂ and Co-W-ZrO₂ coatings has been studied and it was revealed that intermediate metal oxides participate in the oxygen transfer. Cyclic voltamperograms show that Co-Mo-ZrO₂ coatings are characterized by a maximum stability during the anode polarization due to the inclusion of molybdenum and zirconium oxides to their composition.

The studies of the anode behavior of the electrodes with composite Co-Mo-WO_x, Co-Mo-ZrO₂ and Co-W-ZrO₂ coatings testify of the participation of the intermediate oxides of CEC components in the oxidation reaction of ethanol in the alkaline environment. Based on the peak value of the anode current density, we

established that tungsten-containing composite Co-Mo-WO_x coatings show the highest electrocatalytic activity in the ethanol oxidation reaction in comparison to other studied composites. These catalytic properties can be explained by the availability of the refractory metal oxides that are characterized by variable oxidation states and the oxygen donor strength and accepting ability.

It was shown that the contact masses of composite Co-Mo-WO_x, Co-Mo-ZrO₂ and Co-W-ZrO₂ coatings possess high photocatalytic activity in the destruction reaction of methyl orange when exposed to the action of ultraviolet irradiation and moreover, Co-Mo-WO_x coatings have a higher catalytic activity in comparison to composite Co-Mo-ZrO₂ and Co-W-ZrO₂ coatings and can be compared to the conversion titanium oxide-based coatings.

A variable process flowchart was developed for the electrodeposition of cobalt-based alloys and composites with refractory metals; these are Co-W-ZrO₂, Co-Mo-ZrO₂, Co-Mo-WO_x systems that enable the deposition both of thin-film materials for the designated purpose and synergetic materials with the complex realization of improved physical-&-mechanical and physical-&-chemical properties in surface layers.

The full-scale investigative test data obtained for experimental specimens with developed composite coatings and electrolyte compositions with the assistance of such companies as JSC “Kharkov Tractor Plant” and SIF RDB RM LTD (Science and Industry Firm Research-&-Design Bureau for Refrigerating Machines) proved the efficiency of the developed technologies and a high level of the functional properties of obtained materials. The obtained data were implemented into the educational process conducted by the Department for Physical Chemistry of NTU “KhPI” and the Department for Highway Construction Materials and Chemistry of the Kharkov National Automobile and Highway University.

Keywords: cobalt, electrochemical synthesis, alloys, refractory metals, composite electrolytic coatings, catalytic materials, polyligand complexes, corrosion resistance, microhardness.

LIST OF PUBLISHED WORKS BY DISSERTATION TOPIC:

1. Nenastina T. A. Halvanokhimichne formuvannia bahatokomponentnoho splavu kobalta ta tuhoplavkykh metaliv [Galvanochemical formation of a multicomponent alloy of cobalt and refractory metals] / [Yu. K. Hapon, T. A. Nenastina, N. D. Sakhnenko, M. V. Ved'] // Promising Materials and Processes in Applied Electrochemist: monograph / editor-in-chief V. B. Barsukov. – Kyiv, 2016. – P. 117–121.
2. Nenastina T. A. Nanostructured Functional Coatings of Iron Family Metals with Refractory Elements / [M. V. Ved', N. D. Sakhnenko, I. Y. Yermolenko, T. A. Nenastina] // Nanochemistry, Biotechnology, Nanomaterials, and Their Applications: collective monograf. Chernivtsi: Springer, 2017. – Vol. 214. – P 3-34.
3. Nenastina T. A. Electrochemical deposition of Co-Mo-W and Co-Mo-Zr coatings from complex electrolytes / T. A. Nenastina, M. V. Ved', V. O. Proskurina, S. I. Zyubanova // Promising Materials and Processes in Applied Electrochemist: monograph / editor-in-chief V. B. Barsukov. – Kyiv, 2019. – P. 60-66.
4. Nenastina T. Composition Electrolytic Coatings with Given Functional Properties / [G. Yar-Mukhamedova, M. Ved', N. Sakhnenko, T. Nenastina] // monograph, 2019. P. 93–109.
5. Nenastina T. O. Corrosion and electrochemical properties of binary cobalt and nickel alloys / [M. V. Ved', T. O. Nenastina, V. V. Shtefan, T. M. Bairachna, M. D. Sakhnenko] // Materials Science. – 2008. – Vol. 44. – No. 6. – P. 840–843.
6. Nenastina T. A. Functional coatings of ternary alloys of cobalt with refractory metals / [N. D. Sakhnenko, M.V. Ved, Yu. K. Hapon, T. A. Nenastina] // Russian Journal of Applied Chemistry. – 2015. – Vol. 88. – No. 12. – P. 1941–1945.

7. Nenastina T. Electrodeposition and properties of binary and ternary cobalt alloys with molybdenum and tungsten / [G. Yar-Mukhamedova, M. Ved', N. Sakhnenko, T. Nenastina] // Applied Surface Science. – 2018. – № 445. – P. 298 – 307.

8. Nenastina T. A. Influence of the Contents of Refractory Components on the corrosion Resistance of ternary alloys Based on Iron and Cobalt / [Yu. I. Sachanova, I. Yu. Ermolenko, M. V. Ved, M. D. Sakhnenko, T. A. Nenastina, G. Yar-Mukhamedova] // Materials Science. – 2019. – Vol. 54. – No. 4. – P. 556–566.

9. Nenastina T. A. ANN simulation of nanocomposites Fe(Co)-W corrosion resistance / G. Yar-Mukhamedova, M. V. Ved', N. D. Sakhnenko, T. A. Nenastina, M. N. Volobuyev // Proceedings 19th International multidisciplinary scientific geoconference. – 2019. – P. 19-26.

10. Nenastina T. A. Cobalt based coatings as catalysts for methanol oxidation / [T. A. Nenastina, M. V. Ved', N. D. Sakhnenko, I. Y. Yermolenko, M. M. Volobuyev, V. O. Proskurina] // Functional Materials. – 2020. – Vol. 27. – No. 1. – P. 107-116.

11. Nenastina T. A. Galvanochemical formation of functional coatings by alloys cobalt-tungsten doped with zirconia / [T. A. Nenastina, M. V. Ved', N. D. Sakhnenko, V. O. Proskurina, L. P. Fomina] // Functional Materials. – 2020. – Vol. 27. – No. 2. – P. 348–353.

12. Nenastina T. A. Doslidzhennia kompozytnykh splaviv kobaltu dlia reaktsii anodnoho okysnennia etanolu [Investigation of cobalt composite alloys for the anodic oxidation reaction of ethanol] / [T. A. Nenastina, M. V. Ved', N. D. Sakhnenko, V. O. Proskurina] // Pytannia khimii ta khimichnoi tekhnolohii. – 2020. – No. 4. – P. 106-114.

13. Nenastina T. A. Koroziini ta katalitychni vlastyvoli halvanichnykh binarnykh splaviv d⁶⁻⁸ metaliv [Corrosion and catalytic properties of galvanic binary alloys d⁶⁻⁸ metals] / [M. V. Ved', N. D. Sakhnenko, T. A. Nenastina,

T. M. Bairachna, S. O. Kornii] // Fizyko-khimichna mekhanika materialiv. – 2008. – Cpetsvypusk № 7. – P.346 – 350.

14. Nenastina T. A. Funktsionalni pokryttia splavamy d4-8 elementiv [Functional coatings of alloys d4-8 elements] / [M. V. Ved', N. D. Sakhnenko, V. V. Shtefan, T. O. Nenastina, T. M. Bairachna, S. H. Zhelavskiy] // Visnyk NTU "KhPI". Serii: Khimiia, khimichni tekhnolohii ta ekolohiia. – 2008. – №15. – P.25–31.

15. Nenastina T. A. Osobennosty kynetyky splavooobrazovanyia metallov podhruppi zheleza [Features of kinetics of alloying of metals of the iron subgroup] / [V. O. Savchenko, T. O. Nenastina, M. V. Ved', M. D. Sakhnenko, T. V. Shkolnikova, T. A. Yliashenko] // Visnyk NTU "KhPI". Serii: Khimiia, khimichni tekhnolohii ta ekolohiia. –2008. – № 32. – P. 143–147.

16. Nenastina T. O. Jelektroliticheskie kataliticheskie pokrytija splavami d4-8 metallov [Electrolytic catalytic coatings of d4-8 metal alloys] / [M. V. Ved', M. D. Sakhnenko, T. M. Bairachna, T. O. Nenastina] // Jenergotekhnologii i resursoberezhenie. – 2008. – № 4. – P.37 – 43.

17. Nenastina T. A. Jekologicheskie aspekty gal'vanohimicheskikh processov nanesenija pokrytij splavami tugoplavkikh metallov [Ecological aspects of galvanochemical processes of coating alloys of refractory metals] / [Yu. K. Hapon, M. V. Ved', N. D. Sakhnenko, T. A. Nenastina] // Jekologija i promyshlennost'. – 2014. – T. 2. – P. 74–77.

18. Nenastina T. A. Resursoberegajushhaja tehnologija jelektrohimicheskogo osazhdenija ternaryh splavov kobal'ta s tugoplavkimi komponentami [Resource-saving technology of electrochemical deposition of ternary cobalt alloys with refractory components] / [Yu. K. Hapon, M. V. Ved', N. D. Sakhnenko, T. A. Nenastina, Ju. I. Dolzhenko] // Intehrovani tekhnolohii ta enerhozberezhennia. – 2014. – № 4. – P. 38–42.

19. Nenastina T. A. Zakonomernosti obrazovanija kompleksov kobal'ta (II) [Regularities of formation of cobalt complexes (II)] / [Yu. K. Hapon,

T. A. Nenastina, N. D. Sakhnenko, M. V. Ved' // Visnyk NTU "KhPI". Serii: Khimiia, khimichni tekhnolohii ta ekolohiia. – 2014. – №51 (1093). – P. 136–140.

20. Nenastina T. Functional coatings by ternary cobalt based alloys for the automobile industry / [T. Nenastina, Ju. Hapon, M. Glushkova, N. Sakhnenko, M. Ved'] // Avtomobil'nyj transport. – 2015.– No. 36. – P. 34–41.

21. Nenastina T. A. Jekologicheskie aspekty formirovanija mnogokomponentnymi pokrytijami splavami kobal'ta [Ecological aspects of formation of multicomponent coatings with cobalt alloys] / [T. A. Nenastina, M. A. Glushkova, M. V. Ved', N. D. Sakhnenko] // Visnik Harkivs'kogo Nacional'nogo avtomobil'no-dorozhn'ogo universitetu. – 2015. – №. 70. – P. 69–75.

22. Nenastina T. A. Jelektroosazhdenie trojnyh splavov kobal'ta s tugoplavkimi metallami [Electrodeposition of triple alloys of cobalt with refractory metals] / [M. V. Ved', N. D. Sakhnenko, Ju. Hapon, T. A. Nenastina] // Gal'vanotekhnika i obrabotka poverhnosti. – 2016. – №1. – P. 14 –21.

23. Nenastina T. Influence of alloying elements on corrosion-mechanic properties of multi-component electrolytic alloys / [M. Ved', I. Yermolenko, T. Nenastina, S. Ziubanova] // Fyzyko-khimichna mekhanika materialiv. – 2018. – Cpetsvypusk №12. – C.85-89.

24. Nenastina T. O. Vlastyvoli kompozytsiinykh elektrokhimichnykh pokryttiv modyfikovanykh dyoksydom tsyrkoniiu [Properties of composite electrochemical coatings modified with zirconium dioxide] / [N. D. Sakhnenko, M. V. Ved', O. O. Ovcharenko, V. O. Proskurina, T. A. Nenastina] // Visnyk NTU "KhPI". Serii: Innovatsiini doslidzhennia u naukovykh robotakh studentiv. – 2018. –№18 (1294). – P.80-84.

25. Nenastina T. A. Jelektrokataliticheskoe okislenie metanola na ternaryh splavah kobal'ta [Electrocatalytic oxidation of methanol on ternary cobalt alloys] / [T. A. Nenastina, M. V. Ved', N. D. Sakhnenko, V. O. Proskurina, Y. Yu. Ermolenko] // Visnyk NTU "KhPI". Serii: Khimiia, khimichni tekhnolohii ta ekolohiia. – 2018. – №39 (1315). – P.65-69.

26. Nenastina T. O. Funktsionalni ternarni splavy kobaltu [Functional ternary alloys of cobalt] / [T. O. Nenastina, M. V. Ved', N. D. Sakhnenko, V. O. Proskurina] // Visnyk Kharkivskoho Natsionalnoho avtomobilno-dorozhnoho universytetu. – 2019. – Issue.86. – T.1. – P.49–54.

27. Nenastina T. O. Elektrokhimichne formuvannia kompozytsiinykh pokryttiv splavamy kobaltu v impulsnomu rezhym [Electrochemical formation of composite coatings with cobalt alloys in pulsed mode] / [T. O. Nenastina, M. V. Ved', N. D. Sakhnenko, V. O. Proskurina] // Visnyk NTU "KhPI". Serii: Novi rishennia v suchasnykh tekhnolohiiakh. – 2020. – № 1(3). – P.84–94..

28. Nenastina T. O. Sklad i morfolohiia poverkhni kompozytsiinykh elektrolitychnykh pokryviv Co-W-ZrO₂ [Composition and surface morphology of composite electrolytic coatings Co-W-ZrO₂] / T. O. Nenastina, M. V. Ved', V. O. Proskurina // Visnyk NTU "KhPI". Serii: Khimiia, khimichni tekhnolohii ta ekolohiia. – 2020. – № 1. – P.12–18.

29. Nenastina T. O. Variiuvannia rezhymiv elektrolizu – universalnyi metod keruvannia skladom halvanichnykh pokryviv [Variation of electrolysis modes is a universal method of controlling the composition of galvanic coatings] / [Yu. I. Sachanova, N. D. Sakhnenko, M. V. Ved', T. O. Nenastina, V. O. Proskurina] // Visnyk NTU "KhPI". Serii: Khimiia, khimichni tekhnolohii ta ekolohiia. – 2020. – № 1. – P.23–28.

30. Nenastina T. O. Vplyv morfolohii poverkhni kompozytsiinykh elektrolitychnykh pokryviv Co-W-ZrO₂ na funktsionalni vlastyvoli splaviv [Influence of surface morphology of composite electrolytic coatings Co-W-ZrO₂ on functional properties of alloys] / [T. O. Nenastina, M. V. Ved', N. D. Sakhnenko, S. I. Ziubanova] // Visnyk NTU "KhPI". Serii: Novi rishennia v suchasnykh tekhnolohiiakh. – 2020. – № 2(4). – P.110–118.

31. Nenastina T. A. Vlihanie uslovij jelektroliza na sostav i mikrotverdost' pokrytij trojnymi splavami kopal'ta [Influence of electrolysis conditions on the composition and microhardness of coatings with triple cobalt alloys] / [T. A. Nenastina, M. V. Ved', N. D. Sakhnenko, V. O. Proskurina] // Jelektronnaja

obrobotka materialov. –2020. – №1(27). – С. 1–8.

32. Nenastina T. O. Elektroodni materialy dlia vodnevoi enerhetyky [Electrode materials for hydrogen energy] / [T. O. Nenastina, M. V. Ved, M. D. Sakhnenko, S. I. Ziubanova, I. A. Cherepnova] // Inzheneriia pryrodokorystuvannia. – 2020. – №1(15). – P. 6-12.

33. Nenastina T. Corrosion behavior of the electrolytic ternary cobalt alloys with Mo (W) and Zr in alkaline solution / [Nikolay Sakhnenko, Tatyana Nenastina, Iryna Yermolenko, Valerya Proskurina, Maksym Volobuyev] // Ukrainian Chemistry Journal. – 2019. – No 12. – P. 96–109.

34. Nenastina T. O. Patent na korysnu model № 104439 Ukrayna, MPK S25D 3/56 Elektrolit dlia elektrokhimichnoho syntezy pokryttiv splavom kobalt-molibden-volfram [Electrolyte for electrochemical synthesis of cobalt-molybdenum-tungsten coatings] / M. D. Sakhnenko, M. V. Ved, Yu. K. Hapon, T. O. Nenastina; zaiavnyk ta patentovlasnyk NTU “KhPI”.– u 2015 08486; zaiav. 31.08.2015; opubl. 25.01.2016, Biul.№ 2.

35. Nenastina T. O. Patent na korysnu model №105796 Ukraina, MPK S25D 3/56. Sposib elektrokhimichnoho nanesennia pokryttiv splavom kobalt-molibden-volfram [Method of electrochemical coating of cobalt-molybdenum-tungsten alloy] / M. D. Sakhnenko, M. V. Ved, Yu. K. Hapon, T. O. Nenastina; Zaiavnyk ta patentovlasnyk NTU “KhPI”.– № u201508335; zaiavl. 25.08.2015; opubl. 11.04.2016, Biul. № 7.

36. Nenastina T. O. Patent na vynakhid № 112040 Ukrayna, MPK S25D 3/56/ Elektrolit dlia elektrokhimichnoho syntezy pokryttiv splavom kobalt-molibden-volfram [Electrolyte for electrochemical synthesis of cobalt-molybdenum-tungsten coatings] / M. D. Sakhnenko, M. V. Ved, Yu. K. Hapon, T. O. Nenastina; Zaiavnyk ta patentovlasnyk NTU “KhPI”. – № a 2015 08487; zaiav. 31.08.2015; opubl. 11.07.2016, Biul.№ 13.

37. Nenastina T. O. Patent na korysnu model №138263 Ukraina, MPK S25D 3/56. Elektrolit dlia nanesennia pokryttiv splavom kobalt-volfram-tsyurkonii [Електроліт для нанесення покриттів сплавом кобальт-вольфрам-цирконій] /

T. O. Nenastina, M. V. Ved, M. D. Sakhnenko, O.O. Ovcharenko, V. O. Proskurina; Zaiavnyk ta patentovlasnyk NTU “KhPI”.– № u201904633; zaiavl.02.05.2019; opubl. 25.11.2019, Biul. № 22.

38. Nenastina T. O. Patent na korysnu model № 141134 Ukraina, MPK S25D 3/56. Sposib nanesennia pokryttiv splavom kobalt-volfram-tsyrkonii [The method of coating cobalt-tungsten-zirconium alloy] / T. O. Nenastina, M. V. Ved, M. D. Sakhnenko, V.O. Proskurina; Zaiavnyk ta patentovlasnyk NTU “KhPI”.– № u201908739; zaiavl. 19.07.2019; opubl. 25.03.2020, Biul. № 6.

39. Nenastina T. O. Patent na korysnu model № 143025 Ukraina, MPK S25D 3/56. Sposib oderzhannia kompozytsiinykh pokryttiv na osnovi splaviv kobaltu [The method of obtaining composite coatings based on cobalt alloys] / T. O. Nenastina, M. V. Ved, M. D. Sakhnenko, V.O. Proskurina; Zaiavnyk ta patentovlasnyk NTU “KhPI”.– № u201912166; zaiavl.23.12.2019; opubl. 10.07.2020, Biul. № 13.

40. Nenastina T. A. Patent for utility model № 4831 MIIK C25D 3/56 (2006.01) Electrolyte for application of nanodisperse coatings with cobalt-wolfram-zirconium alloy / G. Sh. Yar-Mukhamedova (KZ), A. Ye. Kemelzhanova (KZ); A. D. Muradov (KZ); N. D. Sakhnenko (UA); M. V. Ved (UA); T. A. Nenastina (UA); Patent holder: «Al-Farabi Kazakh National University» Republican State Enterprise on the Right of Economic Management of the Ministry of Education and Science of the Republic of Kazakhstan (KZ), Publ. 04.03.2020, Bull. № 13.

41. Nenastina T. O. Splavi kobal'tu z vol'framom ta molibdenom yak al'ternativa ekologichno nebezpechnim elektrolitichnim pokryttjam tverdim hromom [Cobalt alloys with tungsten and molybdenum as an alternative to environmentally hazardous electrolytic coating of solid chromium] / [Ju. K. Gapon, T. O. Nenastina, M. D. Sakhnenko, M. V. Ved'] // Innovacionnye puti reshenija aktual'nih problem bazovih otraslej, ekologija, jenergo- i resursoberezenija: HHII mezhdunarodnaja nauchno-prakticheskaja konferencija «KAZANTIP-EKO-2014», 02 - 06 iunja 2014g.: materialy. - Har'kov: GP

«UkrNTC «Jenergostal'», 2014. – T. 2. - P.49-52.

42. Nenastina T. O. Vyznachennia konstant nestiikosti kompleksiv v tsytratno-pirofosfatnomu elektroliti dlia nanesennia ternarnykh splaviv kobalt-molibden-volfram [Determination of instability constants of complexes in citrate-pyrophosphate electrolyte for application of ternary alloys cobalt-molybdenumtungsten] / [Iu.K. Hapon, T.O.Nenastina, M.D.Sakhnenko, M.V. Ved] // «Khimichni «Karazinski chytannia – 2014»: VI Vseukrainska naukova konferentsii studentiv ta aspirantiv, 22-24 kvitnia 2014 r.: tezy dopovidi. – Kharkiv: KhNU, 2014. – P. 37–38.

43. Nenastina T. A. Jelektrohimicheskij sintez ternarnih splavov na osnove kobal'ta [Electrochemical synthesis of ternary alloys based on cobalt] / [Ju. K. Gapon, T. A. Nenastina, M. A. Glushkova, M. A. Kozjar, M. V. Ved', N. D. Sahnenko] // Khimiia ta suchasni tekhnologii: VII Mizhnarodna naukovotekhnichna konferentsiia studentiv, aspirantiv ta molodykh vchenykh, 27-29 kvitnia 2015 r.: tezy dopovidei. – Dnepropetrovsk: DVNZ «UDKhTU», 2015. – P. 123–124.

44. Nenastina T. A. Kinetika jelektroodnykh reakcij pri jelektroosazhdenii splavov kobal'ta s tugoplavkimi metallami [Kinetics of electrode reactions during electrodeposition of cobalt alloys with refractory metals] / [Ju.K. Gapon, M.A. Kozjar, M. A. Glushkova, T.A.Nenastina, N.D.Sahnenko, M.V. Ved'] // Nauchnaja Ukraina: vseukrainskaja studencheskaja nauchnoj konferencii s mezhdunarodnym uchastiem, 25 travnja 2015 r.: materialy. – Dnepropetrovsk, 2015. – P. 344-34.

45. Nenastina T. A. Sintez ternarnykh splavov kobal'ta s tugoplavkimi metallami [Synthesis of ternary alloys of cobalt with refractory metals] / [Ju. K. Gapon, T. A. Nenastina, M. A. Kozjar, M. A. Glushkova, M. V. Ved', M. D. Sahnenko] // «Khimichni Karazinski chytannia – 2015»: VII Vseukrainska naukova konferentsiia, 20–22 kvitnia 2015 r.: tezy dop. – Kharkiv: KhNU, 2015. – P. 123–124.

46. Nenastina T. A. Jelektroosazhdenie splava Co-Mo-W na detali slozhnoj konfiguracii [Electrodeposition of Co-Mo-W alloy on parts of complex

configuration] / [Ju. K. Gapon, T. A. Nenastina, M. V. Ved', N. D. Sahnenko] // «Naukova Ukraina»: II Vseukrainska naukova konferentsii z mizhnarodnoiu uchastiu, 23-24 travnia 2016 r.: zbirnyk statei. – Dnepopetrovsk, 2016.– P. 91–94.

47. Nenastina T. O. Funktsionalni pokryttia ternarnymy splavamy kobaltu z tuhoplavkymy metalamy [Functional coatings with ternary alloys of cobalt with refractory metals] / [Yu. K. Hapon, T. O. Nenastina, M. D. Sakhnenko, Yu. I. Dolzhenko] // Suchasni problemy elektrokhemii: osvita, nauka, vyrobnytstvo, Kharkiv 21– 25 veresnia 2015r.: zbirnyk naukovykh prats. – Kharkiv: NTU «KhPI», 2015. – S. 118–119.

48. Nenastina T. O. Elektrolity dlia halvanoikhimichnoho osadzhennia splaviv kobalt-molybden-volfram [Electrolytes for electroplating chemical deposition of cobalt-molybdenum-tungsten alloys] / [Iu. K. Hapon, M. V. Ved, M. D. Sakhnenko, T. O. Nenastina] // Suchasni tekhnologii u promyslovomu vyrobnytstvi: IV Vseukrainska mizhvuzivska konferentsiia, 19-22 kvitnia 2016 r.: tezy dopovidi. – Sumy: SumDU, 2016. – P. 107–108.

49. Nenastina T. A. Korroziionnye svoystva gal'vanicheskikh ternarnykh splavov [Corrosion properties of galvanic ternary alloys] / [T. A. Nenastina, Ju. K. Gapon, N. D. Sahnenko, M. V. Ved'] // «Ekolohiia. Dovkillia. Molod»: II Vseukrainska naukova-praktychna internet konferentsii molodykh vchenykh i studentiv, 28-29 kvitnia 2016 r.: materialy. – Poltava, 2016.-P. 40-44.

50. Nenastina T. O. Vyznachennia kontant nestiikosti kompleksnykh spoluk volframu [Determination of contact instability of complex tungsten compounds] / [Iu. K. Hapon, T. O. Nenastina, M. V. Ved, M. D. Sakhnenko] // Informatsiini tekhnologii: nauka, tekhnika, tekhnolohiia, osvita, zdorovia: XXIV mizhnarodna naukovo-praktychna konferentsiia, 18-20 travnia 2016 r.: tezy dopovidei. – Kharkiv: NTU «KhPI», 2016. – S. 211.

51. Nenastina T. O. Resursozaoshchadzhuvalna ekolohichno bezpechna tekhnolohiia nanesennia pokryttiv splavom Co-Mo-W z vysokymy funktsionalnymy vlastyvostiamy [Resource-saving environmentally friendly technology of coating with Co-Mo-W alloy with high functional properties] /

[Ju. K. Gapon, M. D. Sahnenko, M. V. Ved', T. O. Nenastina] // Innovacionnye puti reshenija aktual'nih problem bazovih otraslej, ekologija, jenergo- i resursosberezhenija «KAZANTIP-EKO-2016»: XXIV mezhdunarodnaja nauchno-prakticheskaja konferencija, 6-10 ijunja, 2016 g.: sb. trudov.– Har'kov: UkrNTC «Jenergostal'», 2016. – T. 2. – S.110–115.

52. Nenastina T. Jekologicheskie aspekty gal'vanohimicheskikh processov nanesenija pokrytij trojnym splavom kobal't-molibden-vol'fram [Ecological aspects of galvanochemical processes of coating with a triple alloy of cobalt-molybdenum-tungsten] / Ju. Gapon, T. Nenastina // Problemy ta perspektyvy rozvytku nauky na pochatku tretoho tysiacholittia u krainakh Yevropy ta Azii: KhKhII mizhnarodna naukovo-praktychna konferentsiia, 30-31 sichnia 2016 r.: materialy. – Pereiaslav-Khmelnyskyi, 2016. – P.22-24..

53. Nenastina T. A. Funtcionalni vlastyivosti synerhetychnoho splavu Co-W-Mo [Functional properties of the synergistic alloy Co-W-Mo] / [Ju. K. Gapon, T. A. Nenastina, M. V. Ved', N. D. Sahnenko] // Innovacionnye puti modernizacii bazovyh otraslej promyshlennosti, jenergo- i resursosberezhenie, ohrana okruzhajushhej prirodnoj sredy: VI Mezhdunarodnaja nauchno-prakticheskaja konferencija, 22–23 marta 2017 g.: trudy. – Har'kov: UkrNTC «Jenergostal'», 2017. – P.195-198.

54. Nenastina T. A. Korrozionnye svojstva jelektroliticheskikh pokrytij splavami d^{4-8} metallov [Corrosion properties of electrolytic coatings with alloys of d^{4-8} metals] / [Ju.K. Gapon, T.A. Nenastina, N.D. Sahnenko, M.V. Ved'] // Khimichni problemy sohodennia: X Ukrainska naukova konferentsiia, 27-29 bereznia 2017 r.: tezy dopovidei.– Vinnitsia, 2017. S.195.

55. Nenastina T. A. Funkcional'nye svojstva pokrytij splavami kobal'ta [Functional properties of coatings with cobalt alloys] / [T. A. Nenastina, Ju. K. Gapon, N. D. Sahnenko, M. V. Ved'] // Ekolohichna bezpeka: suchasni problemy ta propozytsii: vseukrainska naukovo-praktychna konferentsiia, 21 kvitnia 2017 r.: naukovy pratsi. – Kharkiv, 2017. – T.1. – P. 81-86.

56. Nenastina T. A. Kinetika elektrohimičnogo vidnovlennja kobal'tu ta tugoplavkih metaliv z citratnih elektrolitiv [Kinetics of electrochemical reduction of cobalt and refractory metals from citrate electrolytes] / [Ju. K. Gapon, T. A. Nenastina, N. D. Sahnenko, M. V. Ved'] // Ekolohična bezpeka: suchasni problemy ta propozytzii: vseukrainska naukovo-praktyčna konferentsiia, 21 kvitnia 2017 r.: naukovi pratsi. – Kharkiv, 2017. – T.1. – P.81-86.

57. Nenastina T. A. Nanostructure architecture and nanostructure organization of sensor matrix for differential analysis of complex gas media / G. V. Kamarchuk, N. D. Sakhnenko, O. P. Pospelov, M. V. Ved, T. A. Nenastina // Nanotechnology and nanomaterials: International research and practice conference, 23-26 august 2017p.: abstract book. – Chernivtsi, 2017. – P. 786-787.

58. Nenastina T. Mikrotverdist halvanichnykh pokryttiv na osnovi splavu Co-W-Mo [Microhardness of galvanic coatings based on Co-W-Mo alloy] / [Iu. Sachanova, Yu. Hapon, T. Nenastina, S. Rudneva, M. Sakhnenko, M. Ved] // Lvivski khimichni chytannia-2017: XVI naukova konferentsiia, 28-31 travnia 2017r.: naukovi pratsi.– Lviv, 2017. – P. C.T7.

59. Nenastina T. O. Vplyv vmistu tuhoplavkykh komponentiv na koroziinu stiikist ternarnykh splaviv zaliza [Influence of refractory components content on corrosion resistance of ternary iron alloys] / [Iu. I. Sachanova, T. O. Nenastina, I. Yu. Yermolenko, M. V. Ved] // Problemy koroziino-mekhanychnoho ruinuvannia, inzheneriia poverkhni, diahnostychni systemy: «KMN-2017»: vidkryta naukovo-tekhnična konferentsiia, 27-29 veresnia 2017 r.: materialy. – m. Lviv, 2017 r. – S.80-83

60. Nenastina T. O. Elektrolitychni katalitychni pokryttia splavamy Co-W-Mo [Electrolytic catalytic coatings of Co-W-Mo alloys] / T. O. Nenastina, M. D. Sakhnenko, M. V. Ved // Ekolohiia, neoekolohiia, okhrona navkolyshnoho seredovyshcha ta zbalansovane pryrodokorystuvannia: V mizhnarodna naukova konferentsiia, 29-30 lystopada 2017r.: materialy. – Kharkiv: KhNU, 2017. – S.293-294.

61. Nenastina T. A. Jeletroliticheskoe formirovanie pokrytija splavom Co-Mo-W [Electrolytic formation of the Co-Mo-W alloy coating] / [T. A. Nenastina, M. V. Ved', N. D. Sahnenko, V. O. Proskurina] // Khimiia, ekolohiia ta osvita: II mizhnarodna naukovo-prakt. internet-konferentsiia, 15-16 travnia 2018 r.: zb. naukovykh prats. – Poltava, 2018. – P. 8-12.

62. Nenastina T. A. Kataliticheskie svoystva jeletroliticheskikh pokrytij splavami d^{4-8} metallov [Catalytic properties of electrolytic coatings of alloys d^{4-8} metals] / T. A. Nenastina, N. D. Sahnenko, M. V. Ved' // Khimichni problemy sohodennia: I Mizhnarodna naukova konferentsiia, 27-29 bereznia 2018r.: tezy dopovidei. – Vinnytsia, 2018. – P. 258.

63. Nenastina T.O. Kontrol pH rozchyniv halvanichnykh vann [pH control of galvanic bath solutions] / [O. O. Ovcharenko, T. O. Nenastina, V. O. Proskurina, T. V. Shkolnikova] // Informatsiini tekhnolohii: nauka, tekhnika, tekhnolohiia, osvita, zdorovia: KhKhVI mizhnarodna naukovo-praktychna konferentsiia, 18-20 travnia 2018 r.: tezy dopovidei. – Kharkiv: NTU «KhPI», 2018. – P. 277.

64. Nenastyna T. Elektrokatalitychne okysnennia metanolu na ternarnykh splavakh kobaltu [Electrocatalytic oxidation of methanol on ternary alloys of cobalt] / [T.Nenastyna, M. Ved, M. Sakhnenko, V. Proskurina, Yu. Sachanova, S. Ziubanova] // VIII Ukrainyskyi zizd z elektrokhemii, 4-7 chervnia 2018 r.: naukovi pratsi. – Lviv, 2018. – ch. 1. – S. 48-50.

65. Nenastyna T. O. Elektrolitychni splavy na osnovi kobaltu [Electrolytic alloys based on cobalt] / [T. O. Nenastyna, M. V. Ved, M. D. Sakhnenko, L. P. Fomina, V. O. Proskurina] // Aktualni zadachi khimii: doslidzhennia ta perspektyvy: III vseukrainska naukova konferentsiia, 17 kvitnia 2019 r.: materialy. – Zhytomir: ZhDU, 2019. – P.143-145.

66. Nenastina T. O. Katalitychna aktyvnist splavu kobalt-molibden-tsyurkonii [Catalytic activity of cobalt-molybdenum-zirconium alloy] / T. O. Nenastina, M. D. Sakhnenko, M. V. Ved // Ekolohichna bezpeka: suchasni

problemy ta propozytsii: nauk. kruhlyi stil III vseukr. naukovo-prakt. konferentsii, 26 kvitnia 2019r.: nauk. pratsi. – Kharkiv, 2019. – P. 179-184.

67. Nenastina T. A. Ternary cobalt based electrolytic alloys as catalytic materials for methanol oxidizing / [M. V. Ved, N. D. Sakhnenko, T. A. Nenastina, S. I. Zyubanova] // Aktualni pytannia khimii ta intehrovanykh tekhnolohii: mizhnarodna naukovo-praktychna konferentsiia, 7-8 lystopada, 2019r.: materialy. – Kharkiv: KhNUMH, 2019. – P. 156..

68. Nenastyna T. O. Osoblyvosti elektrokhimichnoho osadzhennia kompozytsiinykh pokryttiv na osnovi kobaltu [Features of electrochemical deposition of composite coatings based on cobalt] / [T. A. Nenastyna, M. V. Ved, N. D. Sakhnenko, V. O. Proskurina] // Khimichni problemy sohodennia: III Mizhnarodna naukova konferentsiia, 25-27 bereznia 2020r.: tezy dopovidei. – Vinnytsia, 2020. – P. 120

ЗМІСТ

СПИСОК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛОВ І СКОРОЧЕНЬ.....	5
ВСТУП.....	8
РОЗДІЛ 1 ЗАСТОСУВАННЯ ЕЛЕКТРОЛІТИЧНИХ СПЛАВІВ ТА КОМПОЗИЦІЙНИХ ПОКРИВІВ НА ОСНОВІ КОБАЛЬТУ ТА ОСОБЛИВОСТІ ЇХ ЕЛЕКТРООСАЖДЕННЯ.....	20
1.1 Характеристики матеріалів на основі кобальту.....	20
1.2 Основні погляди на механізм сумісного осадження кобальту з тугоплавкими металами в композиційні покриття і сплави.....	22
1.3 Електролітичні сплави кобальту з d ⁴ -металами.....	26
1.4 Композиційні електролітичні покриття.....	35
1.5 Вибір напрямку досліджень.....	40
РОЗДІЛ 2 МЕТОДОЛОГІЯ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	44
2.1 Об'єкти досліджень.....	44
2.2 Робочі розчини та модельні середовища.....	45
2.3 Комірки для експериментальних досліджень.....	49
2.4 Технічні прилади та устаткування.....	50
2.5 Режими електролізу	51
2.6 Методи вимірювання.....	52
2.7 Визначення складу і констант нестійкості комплексних сполук.....	58
2.8 Визначення хімічного та фазового складу покриттів	59
2.9 Визначення виходу за струмом композиційних покриттів на основі сплавів кобальту.....	60
2.10 Визначення розсіювальної здатності та електропровідності електроліту.....	62
2.11 Дослідження функціональних властивостей композиційних покриттів Co-Mo-WO _x , Co-Mo-ZrO ₂ , Co-W-ZrO ₂	64

РОЗДІЛ 3 КІНЕТИКА ТА МЕХАНІЗМ ЕЛЕКТРОХІМІЧНОГО СПИВОСАДЖЕННЯ КОБАЛЬТУ, МОЛІБДЕНУ, ВОЛЬФРАМУ І ЦИРКОНІЮ В СПЛАВИ І КОМПОЗИЦІЙНІ ПОКРИВИ.....	72
3.1 Обґрунтування вибору лігандів для електроосадження композиційних електролітичних покриттів сплавами кобальту.....	75
3.2 Формальна кінетика катодних процесів сумісного відновлення кобальту, молібдену, вольфраму і цирконію	92
3.3 Висновки.....	126
РОЗДІЛ 4 ЕЛЕКТРООСАДЖЕННЯ ЕЛЕКТРОЛІТИЧНИХ ПОКРИВІВ СПЛАВАМИ І КОМПОЗИТАМИ НА ОСНОВІ КОБАЛЬТУ З ПОЛІЛІГАНДНИХ ЕЛЕКТРОЛІТІВ.....	129
4.1 Композиційні електролітичні покриття Co-Mo-WO _x	129
4.2 Композиційні електролітичні покриття Co-Mo-ZrO ₂	142
4.3 Електроліт для формування композиційних покриттів Co-W-ZrO ₂	154
4.4 Розсіювальна здатність і електропровідність цитратно-пірофосфатних електролітів осадження КЕП	166
4.5 Вибір матеріалу анодів для осадження КЕП Co-Mo-WO _x , Co-Mo-ZrO ₂ і Co-W-ZrO ₂	170
4.6 Висновки.....	175
РОЗДІЛ 5 ФУНКЦІОНАЛЬНІ ВЛАСТИВОСТІ КОМПОЗИЦІЙНИХ ЕЛЕКТРОЛІТИЧНИХ ПОКРИВІВ Co-Mo-WO _x , Co-Mo-ZrO ₂ і Co-W-ZrO ₂	178
5.1 Топографія і шорсткість поверхні покриттів Co-Mo-WO _x , Co-Mo-ZrO ₂ і Co-W-ZrO ₂	178
5.2 Рентгенофазовий аналіз композиційних покриттів Co-Mo-WO _x , Co-Mo-ZrO ₂ і Co-W-ZrO ₂	193
5.3 Фізико-механічні властивості покриттів.....	196
5.4 Корозійна тривкість покриттів.....	200

5.5 Каталітичні властивості композиційних покриттів Co-Mo-WO _x , Co-Mo-ZrO ₂ і Co-W-ZrO ₂	209
5.6 Фотокаталітичні властивості композиційних електролітичних покриттів Co-W-ZrO ₂ , Co-Mo-ZrO ₂ і Co-Mo-WO _x	236
5.7 Висновки.....	239
РОЗДІЛ 6 ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕХНОЛОГІЙ ПОКРИТТІВ	
Co-Mo-WO _x , Co-Mo-ZrO ₂ і Co-W-ZrO ₂	242
6.1 Технологічна схема електроосадження покриттів Co-Mo-WO _x , Co-Mo-ZrO ₂ і Co-W-ZrO ₂	243
6.2 Моделювання залежності вмісту компонентів композиційних електролітичних покриттів від густини струму поляризації.....	249
6.3 Варіативність технологій покриттів.....	253
6.4 Застосування матеріалів на основі сплавів кобальту в еко- та енерготехнологіях.....	257
6.5 Техніко-економічне обґрунтування технологічного процесу.....	267
6.6 Висновки.....	268
ВИСНОВКИ.....	271
СПИСОК ВИКОРИСНАНИХ ДЖЕРЕЛ ІНФОРМАЦІЇ.....	274
ДОДАТКИ.....	317