

## **ВІДГУК**

офіційного опонента на дисертаційну роботу  
**НЕНАСТІНОЇ ТЕТЯНИ ОЛЕКСАНДРІВНИ**  
“Електролітичні сплави і композити на основі кобальту з  
тугоплавкими металами для еко- і енерготехнологій”,  
що подана на здобуття наукового ступеня  
доктора технічних наук  
за спеціальністю 05.17.03 – технічна електрохімія

Дисертаційна робота Ненастіної Тетяни Олександрівни присвячена рішенням важливої науково-технічної проблеми розроблення наукових основ формування багатокомпонентних електролітичних сплавів і композитів на основі кобальту з тугоплавкими металами в агрегативно стійких і стабільних розчинах електролітів і гнучкого керування складом а, відповідно, і функціональними властивостями отриманих матеріалів, для застосування в еко - і енерготехнологіях.

### **Актуальність теми дисертації.**

Згідно результатів роботи експертної групи Національної академії наук України розроблено «Прогнозне бачення провідних напрямків розвитку матеріалознавства функціональних матеріалів». Виходячи з нього, у середньостроковій перспективі визнані пріоритетними дослідження у таких галузях матеріалознавства: металеві конструкційні матеріали, технології їх одержання, з'єднання і обробка; нанотехнології та нові матеріали, створені на їх основі; функціональні матеріали і методи їх одержання, технології виробництва зносостійких композитів, надтвердих матеріалів; фізико-хімічна механіка руйнування та міцності матеріалів і їх нероз'ємних з'єднань; фізичні основи та технології діагностування властивостей матеріалів; моніторинг технічного стану та визначення залишкового ресурсу конструкцій; нові високоефективні технології обробки матеріалів і нанесення покриттів з особливими властивостями; перспективні матеріали для потреб водневої енергетики; матеріали біомедичного призначення та нові технології нероз'ємного з'єднання живих тканин.

Сучасна техніка, мікроелектроніка, енергетика та аерокосмічна промисловість потребують конструкційних, композитних та функціональних матеріалів, які мають високу корозійну тривкість у агресивних середовищах, а також стійкість до стирання та зносу, жаростійкість та твердість, й вимагає від таких матеріалів та їх з'єднань точного дотримання форм і розмірів, заданого рівня експлуатаційних властивостей, а також спеціальних властивостей поверхонь матеріалів.

До числа найбільш ефективних напрямків синтезу нових функціональних матеріалів, у тому числі каталітично активних, відносяться електрохімічні методи, що надають змогу гнучко керувати вмістом компонентів, швидкістю їх осадження і станом поверхні за рахунок варіювання як складу електролітів, так і режимів поляризації.

Метод електроосадження дозволяє отримувати складні багатокomпонентні покриття, контролювати та стабільно відтворювати їх хімічний склад та властивості.

Вищенавеленим вимогам відповідають сплави тугоплавких металів з металами підгрупи заліза, зокрема з кобальтом, завдяки широкому спектру цінних фізико-хімічних властивостей, таких як висока корозійна та зносостійкість, твердість, жароміцність. З водних розчинів ні вольфрам, ні молібден, в чистому вигляді не осаджуються, але їх можна співосадити з іншими металами, у тому числі і з кобальтом. На даний момент відома значна кількість бінарних і потрійних кобальтвмісних електролітичних сплавів. Створення ж композиційних електрохімічних покриттів на основі кобальту, є цікавим і достатньо новим напрямком. Для його практичної реалізації необхідно забезпечення агрегативної стійкості електролітів-суспензій.

Впродовж останніх років спостерігається підвищений інтерес до електролітичних тонкоплівкових покриттів сплавами металів тріади заліза з  $d^4$ -елементами, і це дійсно обумовлено можливістю одержання матеріалів, функціональні властивості і експлуатаційні характеристики яких істотно перевищують характеристики сплавотвірних компонентів.

Дисертаційна робота Ненастіної Т.О. виконана в Національному технічному університеті «Харківський політехнічний інститут», відноситься до наукової школи видатного українського вченого-електрохіміка, знаного в Україні та за її межами науковця в царині створення нанорозмірних і нанокомпозитних матеріалів з широким спектром функціональних властивостей, доктора технічних наук, професора Марини Віталіївни Ведь, яка була науковим консультантом здобувача.

Можна впевнено сказати, що тема дисертації Т.О. Ненастіної є актуальною, бо стосується вирішення пріоритетних проблем сьогоденного хімічного матеріалознавства шляхом розробки наукового підґрунтя електрохімічних технологій.

**Метою дисертаційної роботи** Ненастіної Т.О. була розробка наукових основ електрохімічної технології покриттів сплавами і композитами на основі кобальту з тугоплавкими металами, як матеріалів для еко- і енерготехнологій.

Для вирішення цієї проблеми дисертант сформулювала гіпотезу щодо осаження з розчинів електролітів нанокомпозиційних багатокomпонентних покриттів зі зміцнювальною фазою, яка утворюється безпосередньо (*in situ*) в електродному процесі. Маючи за ціль одержання покриттів сплавами і композитами із заданим вмістом компонентів, здобувач обґрунтувала доцільність визначення складу і констант нестійкості цитратних, пірофосфатних і змішаних цитратно-пірофосфатних комплексів кобальту(II) і цирконію(IV), а також систем на основі вольфраматів і молібдатів, як необхідний крок для встановлення раціонального співвідношення концентрацій сплавотвірних металів і лігандів у нетоксичних електролітах, тобто можливості прогнозування, що є вельми актуальним.

### **Зв'язок роботи з державними науковими програмами, планами, темами.**

Дисертаційна робота виконана на кафедрі загальної та неорганічної хімії Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» в межах держбюджетних тем МОН України: «Створення новітніх технологій наноструктурних матеріалів з підвищеним ресурсом, корозійним та механічним опором для виробів подвійного призначення» (ДР № 0116Ш00920), «Створення новітніх наноструктурних функціональних матеріалів на основі композитів і багатокомпонентних електролітичних сплавів металів тріади заліза для еко - та енерготехнологій» (№ ДР 0118и002051), «Розробка наукових основ технології наноструктурованих функціональних тонкоплівкових матеріалів подвійного призначення на основі електролітичних сплавів і композитів» (ДР 0120Ш01006). Такий зв'язок з держбюджетною тематикою університету, де здобувач була виконавцем окремих етапів тем, підтверджує актуальність проведених досліджень.

### **Загальна характеристика роботи, її структура та зміст.**

Дисертацію написано за класичною схемою, викладена вона на 358 сторінках, містить 163 рисунків (з них 160 по тексту) та 37 таблиць (з них 35 по тексту), складається зі списку умовних позначень, символів і скорочень, вступу, 6 розділів з висновками, загальних висновків, списку використаних джерел, що містить 330 найменувань (з них 80-90% за останнє десятиліття), та 8 додатків (на 42 сторінках). На початку роботи українською та англійською мовами наведено анотацію та список опублікованих праць за темою дисертації. Автореферат за змістом ідентичний до тексту, основних положень та висновків дисертації.

У *вступі* чітко обгрунтовано вибір теми дисертаційної роботи, її актуальність, конкретизовані мета і основні завдання, висвітлено наукову новизну та практичну важливість питань, що складають предмет дисертаційного дослідження, а також надано загальну характеристику роботи. Наведено об'єкти дослідження і використані методи, детально описано особистий внесок здобувача. Подано перелік конференцій, на яких оприлюднювалися результати досліджень дисертанта, показано зв'язок проведених досліджень з науковими планами Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут».

*Перший розділ* присвячено аналізу стану найважливіших питань з проблем особливостей електроосадження та застосування сплавів та композиційних покриттів на основі кобальту. Дисертант критично проаналізувала сучасні погляди на механізм співосадження кобальту з тугоплавкими металами, окремо охарактеризувала матеріали на основі кобальту, а саме електролітичні сплави і композиційні покриття з  $d^4$ -металами як ефективні електродні матеріали для різних промислово важливих процесів хімічної та енергетичної галузей. Показана потреба у доопрацюванні багатьох методологічних аспектів управління процесом формування електролітичних покриттів заданого складу для керування їх властивостями. На основі проведеного аналізу окреслено коло проблем, актуальних до вирішення.

У *другому розділі* наведено опис матеріалів та обладнання, електролітів, режимів електролізу, методів вимірювання. Детально описано різні методи визначення кінетичних параметрів електродних процесів – потенціометричний, лінійна та циклічна вольтамперометрія, у вигляді таблиці наведено діагностичні критерії, які є незамінними для встановлення вірогідного механізму процесу. Приведено алгоритм визначення складу і констант нестійкості комплексних сполук. Наведені рівняння для розрахунку виходу за струмом композиційних покривів на основі тернарних сплавів кобальту, розписані методи визначення властивостей покривів: корозійних, електрохімічних, фізико-хімічних, каталітичних. Для встановлення анізотропії властивостей дисертантка вдавалася до дослідження шляхом атомно-силової мікроскопії топології та фрактальності поверхні отриманих зразків КЕП. Наведені методики визначення кількісного та якісного складу електросаджених покривів. Як технологічні параметри розглянуто шляхи визначення розсіювальної здатності та електропровідності електролітів. Наведено опис розрахунків похибок вимірювань. Корисною є наведена методика визначення фотокаталітичної активності одержаних електродних матеріалів.

У *третьому розділі* обґрунтовано вибір лігандів робочих розчинів, вивчено кінетичні закономірності електрохімічного співосадження кобальту, молібдену, вольфраму і цирконію в сплави і композиційні покриття, встановлено формальну кінетику катодних процесів їх сумісного відновлення. Комплексоутворення у багатокомпонентних розчинах, що містять катіони кобальту (II), цирконію (IV), оксометалати і багатозарядні ліганди, досліджено методом Ледена.

Наведені результати дослідження іонних рівноваг у розчинах, які склали підґрунття для вибору співвідношення концентрацій комплексотвірників і лігандів і визначення природи частинок, які розряджаються на катоді. Кінетичні закономірності для досліджуваних систем досліджено методом лінійної вольтамперометрії із визначенням характеристичних критеріїв. Запропонована схема, що дозволяє окреслити шляхи керування процесами осадження сплавів і композитів на основі кобальту з тугоплавкими металами, а саме варіювання співвідношення концентрацій компонентів електроліту і режимів електролізу, які сприяють більш повному перебігу як хімічних, так і електрохімічних реакцій.

В *четвертому розділі* проведений аналіз результатів впливу складу електролітів та параметрів електролізу на елементний та фазовий склад покривів. Встановлені розсіювальна здатність та електропровідність полілігандного цитратно-пірофосфатного електроліту осадження, обґрунтовано вибір матеріалу анодів для електроосадження композиційних покривів Co-Mo-WO<sub>x</sub>, Co-Mo-ZrO<sub>2</sub>, Co-W-ZrO<sub>2</sub> – інертні електроди з нержавіючої сталі при співвідношенні площин катоду до аноду як 1 : 10, та інтервал об'ємної густини струму в межах 1,5–2,0 А/дм<sup>3</sup>. Виходячи з вмісту тугоплавких металів, морфології поверхні та виходу за струмом для осадження покривів із вмістом тугоплавких компонентів для Co-Mo-WO<sub>x</sub> 30 – 45 мас.%, Co-Mo-ZrO<sub>2</sub> 15 – 25 мас.% та Co-W-ZrO<sub>2</sub> 15 – 30 мас.% автором

рекомендовано використовувати імпульсний режим електролізу, підтримуючи параметри  $i=4-8$  А/дм<sup>2</sup>,  $t_1=2-10$  мс,  $t_n=5-10$  мс.

**П'ятий розділ** присвячено дослідженню фізико-хімічних і функціональних властивостей композиційних електролітичних покриттів. Багато уваги приділено встановленню впливу умов електроосадження на отримані характеристики.

Доведено підвищення мікротвердості покриттів відносно показників сплавотвірних компонентів, причому найвищий показник має система Co-Mo-WO<sub>x</sub> (до 1100 кг/мм<sup>2</sup>), для цієї ж системи за розрахованим глибинним показником швидкості корозії встановлено найвищий корозійний опір у кислому середовищі та виявлено нададдитивне зростання каталітичної активності в модельній реакції електролітичного виділення водню з кислих середовищ покриттів на основі кобальту.

**Шостий розділ** присвячено розгляду технологічних процесів електрохімічного формування покриттів Co-Mo-WO<sub>x</sub>, Co-Mo-ZrO<sub>2</sub>, Co-W-ZrO<sub>2</sub>. Автором змодельовано залежності між компонентним складом КЕП та густиною струму осаження. Наведено технологічні схеми. На підставі визначення кінетичних параметрів і стадійності процесу показано, що каталітична активність КЕП в реакціях окиснення низькомолекулярних спиртів обумовлена участю оксидів тугоплавких металів у перенесенні кисню. Встановлено, що контактні маси покриттів виявляють фотокаталітичну активність в реакції деструкції азобарвника метилового гарячого під дією УФ-опромінення, причому Co-Mo-WO<sub>x</sub> мають більш високу по відношенню до Co-Mo-ZrO<sub>2</sub> і Co-W-ZrO<sub>2</sub> каталітичну активність, і можуть бути порівнянні з конверсійними покриттями оксидами титану. Це дозволяє рекомендувати їх як тонкошарові матеріали для еко- та енерготехнологій.

В **додатках** наведено технологічні інструкції на процеси осаження покриттів сплавами і композитами на основі кобальту з тугоплавкими металами, акти випробувань отриманих матеріалів, а також акти впровадження результатів досліджень, зокрема розроблених методик, в навчальний процес НТУ «ХП» і ХНАДУ, список опублікованих наукових праць здобувача за темою дисертації.

#### **Новизна дослідження та отриманих результатів.**

Як основні елементи наукової новизни треба виділити наступне:

- висунуто та експериментально доведено гіпотезу щодо електроосадження композитів на основі сплавів кобальту з Mo, W, Zr з агрегативно стійких і стабільних розчинів електролітів завдяки утворенню фази оксидів молібдену і вольфраму безпосередньо у катодному процесі, що дозволило забезпечити їх рівномірне включення у матрицю потрійних сплавів;

- визначено склад і константи нестійкості цитратних, пірофосфатних та цитратно-пірофосфатних комплексів Co(II) і Zr(IV), а також систем на основі вольфраматів і молібдатів, що дозволило встановити раціональне співвідношення концентрацій сплавотвірних металів і лігандів у нетоксичних електролітах для одержання покриттів сплавами і композитами із заданим вмістом компонентів;

- на підставі аналізу кінетичних критеріїв катодного процесу представлено вірогідний механізм співвідновлення кобальту з тугоплавкими металами з цитратно-пірофосфатних електролітів у сплави або композити Co-Mo-W/Co-Mo-WO<sub>x</sub>, Co-Mo-Zr/Co-Mo-ZrO<sub>2</sub>, Co-W-Zr/Co-W-ZrO<sub>2</sub>, як сукупність послідовних і спряжених реакцій за участю моно- і білігандних комплексів, проміжних оксидів тугоплавких металів та ад-атомів водню, які надано узагальненою схемою. Доведено конкурування вольфраму з цирконієм або молібденом при співосажденні у покриття Co-W-ZrO<sub>2</sub> і Co-Mo-WO<sub>x</sub>, тоді як формування Co-Mo-ZrO<sub>2</sub> відбувається за конкуренції між кобальтом та тугоплавкими металами, що пояснюється відмінністю параметрів кристалічних ґраток металів і окиснювальної здатності оксометалатів;

- встановлено, що густина струму електроосадження і температура впливають на мікротвердість покриттів сплавами і КЕП на основі кобальту суттєвіше за вміст тугоплавких металів. Системи, що містять одночасно молібден і вольфрам виявляють вищу мікротвердість до 1100 кг/мм<sup>2</sup> порівняно із цирконій-вмісними системами, для яких цей показник не перевищує 550 кг/мм<sup>2</sup>;

- доведено нададитивне зростання електрокаталітичної активності у модельній реакції електролітичного виділення водню з кислого середовища покриттів Co-Mo-WO<sub>x</sub>, Co-Mo-ZrO<sub>2</sub> і Co-W-ZrO<sub>2</sub> порівняно зі сплавотвірними компонентами за рахунок диференціації енергій зв'язку метал-кисень і метал-гідроген у багатокомпонентних системах.

**Значення одержаних результатів для науки та практики.** Практична значущість роботи полягає в створенні наукових основ та технологічних засад електрохімічного формування покриттів сплавами і композитами на основі кобальту з тугоплавкими металами, що склали підґрунтя для розробки технології гальванічних покриттів Co-Mo-WO<sub>x</sub>, Co-Mo-ZrO<sub>2</sub>, Co-W-ZrO<sub>2</sub>, як матеріалів для відновлення, зміцнення і захисту поверхні, електро- і фотокаталітичних матеріалів.

Дослідно-промислові випробування властивостей покриттів сплавами і композитами на основі кобальту були проведені на АТ «Харківський тракторний завод» і ТОВ «НВФ ДКБ ХМ» («Науково виробнича фірма дослідне конструкторське бюро холодильних машин») і показали, що розроблені матеріали можна рекомендувати для захисту поверхні маловуглецевої сталі та надання поверхні підвищених фізико-механічних властивостей. Розроблений електроліт для нанесення покриттів Co-Mo-WO<sub>x</sub> рекомендовано до впровадження на АТ «Харківський тракторний завод».

Науково-технічна новизна розробок дисертанта підтверджена 7-ма патентами, а саме одним патентом України на винахід, та 6 патентами на корисну модель, один з яких є закордонним – патент Республіки Казахстан.

Деякі результати дисертаційної роботи використано в навчальному процесі навчально-наукового Інституту хімічних технологій та інженерії Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» та Харківського національного автомобільно-дорожного університету.

**Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, викладених у дисертації, їх достовірність.** Наукові положення і висновки, сформульовані у дисертації, є обґрунтованими та підтверджуються результатами теоретичних і експериментальних досліджень. Розроблені та запропоновані рекомендації базуються на аналізі результатів великої серії системних експериментальних досліджень.

Достовірність результатів дисертаційної роботи забезпечено застосуванням сучасних електрохімічних, фізичних і фізико-хімічних методів, точністю вимірювання, комп'ютерною та статистичною обробкою даних, до того ж вона базується на системності підходу автора до обробки даних, апробацією дослідження на міжнародних та всеукраїнських конференціях. Науковий матеріал за обсягом достатній для обґрунтування положень та висновків, винесених на захист. Загальні висновки ґрунтуються на одержаних особисто здобувачем результатах, відображають наукову новизну і практичну значущість роботи, вони містять наукові положення, які в цілому забезпечують розв'язання важливої науково-практичної проблеми створення наукових основ електрохімічного формування електролітичних сплавів і композитів на основі кобальту з тугоплавкими металами для різних еко - і енерготехнологій.

**Повнота викладення результатів роботи в опублікованих працях.** Матеріали дисертації викладено у 68 публікаціях, серед яких чотири монографії у співавторстві, 28 статей у провідних фахових виданнях України та закордонних періодичних фахових виданнях, серед яких 8 у виданнях, що входять до наукометричної бази Scopus та WoS, 7 патентів (1 патент України на винахід, 5 – на корисну модель, та один закордонний патент Республіки Казахстан), а також 29 тез і матеріалів конференцій. Результати дисертації доповідались на різних науково-практичних конференціях, що відбувалися на теренах України з 2014 року, більшість з яких мала статус міжнародних. Аналіз опублікованих праць дає підстави вважати, що вони відбивають основні положення дисертації.

**Оцінка мови, стилю та оформлення дисертації та автореферату.** Дисертація написана грамотно, державною мовою. Виклад матеріалу послідовний, розділи взаємопов'язані та розкривають поставлену мету. Тема дисертації відповідає паспорту спеціальності 05.17.03 – технічна електрохімія. Дисертація та автореферат оформлені відповідно до вимог ДАК України та наказу Міністерства освіти та науки України №40 від 12.01.2017р.

#### **Зауваження до дисертаційної роботи.**

1. Розрахунок констант нестійкості цитратних, пірофосфатних та змішаних цитратно-пірофосфатних комплексів кобальту (II) та цирконію(VI), а також систем на основі вольфраматів і молібдатів, проведено методом Ледена. Цей метод заснований на вимірюванні рівноважної концентрації вільних іонів металу (незакомплексованих), при цьому повинно виконуватися рівняння Нернста. З дисертації не ясно, чи досліджувалася застосовність рівняння Нернста для визначення рівноважної концентрації кобальта(II).

2. Залежності різниці рівноважних потенціалів кобальтових електродів від концентрації пірофосфат-іонів для систем  $\text{Co}^{2+}\text{-MoO}_4^{2-}\text{-P}_2\text{O}_7^{4-}$ ,  $\text{Co}^{2+}\text{-WO}_4^{2-}\text{-P}_2\text{O}_7^{4-}$ ,  $\text{Co}^{2+}\text{-P}_2\text{O}_7^{4-}$  повністю співпадають, що, на думку автора, свідчить про повне витіснення молібдат- та вольфрамат-іонів з внутрішньої сфери комплексів і утворення діпірофосфату кобальту  $\text{Co}(\text{P}_2\text{O}_7)_2^{6-}$ . Хотілося б бачити довірчі інтервали, чи інформацію про відтворюваність експериментів, бо вірогідність такого повного співпадіння абсолютно всіх точок на залежностях, отриманих в різних системах, згідно рисункам 3.10 (крива 1), 3.11(крива 1) та 3.8 (крива 3), є невеликою.

3. На стор.136 наведено дані порівняльного аналізу вмісту компонентів КЕП, отриманих за умов постійного та імпульсного електролізу, зроблено висновок про те, що використання імпульсного режиму дозволяє збагатити покриття легувальними компонентами та зменшити вміст неметалічних домішок. Оскільки для хімічного аналізу було використано енергодисперсійну спектроскопію, то висновки про кількісні значення вмісту легких елементів можуть бути не зовсім коректними. На думку опонента, для такої картини (рис.4.6) правильніше говорити лише про вплив на перерозподіл компонентів тугоплавких металів в сторону збільшення вмісту вольфраму.

4. Мені хотілося б почути відповідь на таке питання - композитні покриття наносили на сталь та мідь, а кінетику досліджували на сталі. Чим пояснюється такий вибір? Чому кінетику досліджували не на кобальті, а на сталі (на кінетику може впливати й стадія електрокристалізації).

5. Нажаль дані дослідження поверхні осадів, отримані методом АСМ, наведені в первинному вигляді, не побудовано і не проаналізовано характеристичних залежностей встановлених значень шорсткості від товщини осаду ( $R_a - h$ ,  $R_a - h^{0.5}$ ), від густини струму осадження ( $R_a - j$ ). Не встановлено коефіцієнт шорсткості  $K_{ш}$ , відхилення якого від сталої величини могло б дати додаткове пояснення впливу кінетики електродного процесу на розвиток рельєфу та структури осаду в процесі його формування (наприклад, вплив виділення  $\text{H}_2$ , тощо).

6. Значення нахилів поляризаційних кривих (стор.213, табл.5.3), отриманих на зразках з синтезованими КЕП, є завеликими (0,4-0,5 В), і це не обов'язково говорить про сповільнену стадію розряду і відведення атомів водню, що утворилися рекомбінацією, а більш вірогідно пов'язано або зі ступенем заповнення поверхні або з її активацією.

7. По оформленню. Розділ 1.1 «Характеристики матеріалів на основі кобальту» практично не розкрито, бо наведений там матеріал по суті повторює наповнення змісту розділу 1.4. «Електролітичні сплави кобальту з d<sup>4</sup>-металами». Можна було б його не виділяти у окремий підрозділ.

На стор.46-47 три рази переписаний практично один і той же текст про поетапне приготування робочих розчинів для отримання кожного з трьох композитів кобальту, його можна було б навести один раз, але узагальнено.



По тексту дисертації можна зустріти помилки та описки, невдалі вирази, наприклад: «оксометалалатів» (стор.42), «наждаковим папером» (стор.45), «методік» (стор. 28 АР), «зміни потенців» (стор.83), «ліганді» і «сполжук» (с.85), «сплавотвіруних» (стор. 214), «формування стероїдної структури поверхні» (стор.181), та інше. В рівняннях (5.1), (5.2) неакуратно проставлені зарядні індекси.

Перераховані вище зауваження та побажання не змінюють загальної позитивної оцінки дисертаційної роботи.

### Загальні висновки

Загалом дисертаційна робота Ненастіної Т.О. «Електролітичні сплави і композити на основі кобальту з тугоплавкими металами для еко- і енерготехнологій», є завершеним науковим дослідженням. Автором одержано нові науково обґрунтовані результати, що в сукупності забезпечують розв'язання важливої науково-практичної проблеми створення наукових основ електрохімічних технологій покриттів сплавами і композитами на основі кобальту з вольфрамом, молібденом або цирконієм, що дозволило керувати складом, структурою, станом поверхні, а відтак, і рівнем функціональних властивостей покриттів.

За змістом, рівнем виконання, новизною одержаних наукових результатів, їх практичною значущістю дисертаційна робота Ненастіної Т.О. відповідає вимогам п.п. 9, 10, 12, 13 «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24 липня 2013 р. № 567, та всім вимогам МОН України до докторських дисертацій, а її автор **Ненастіна Тетяна Олександрівна** заслуговує на присудження наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.17.03 – технічна електрохімія.

#### Офіційний опонент:

Провідний науковий співробітник  
відділу електрохімічного матеріалознавства  
та електрокаталізу  
Інституту загальної та неорганічної хімії  
ім. В.І.Вернадського НАН України,  
старший науковий співробітник,  
доктор технічних наук



О.Л. Берсірова

Підпис О.Л. Берсірової засвідчую:  
Вчений секретар ІЗНХ НАН України  
канд. хім. наук



Л.С. Лисюк