

# Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»



Навчально-науковий інститут  
Хімічних технологій та інженерії



## Електрохімія функціональних матеріалів і систем

**М. Д. Сахненко**

Харків 2022

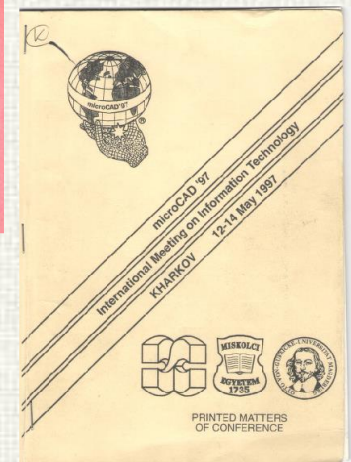
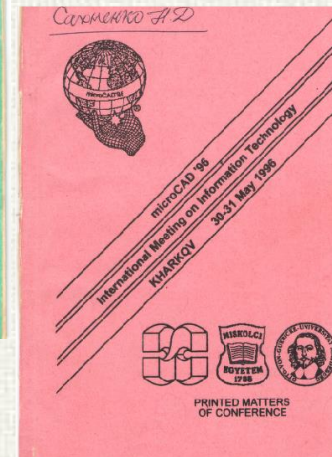
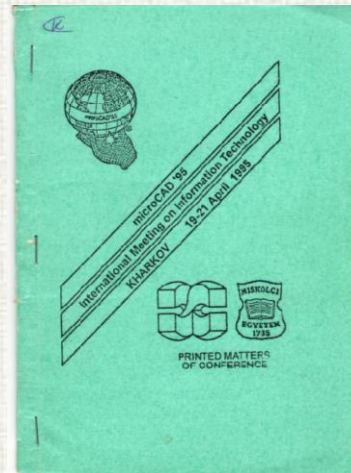
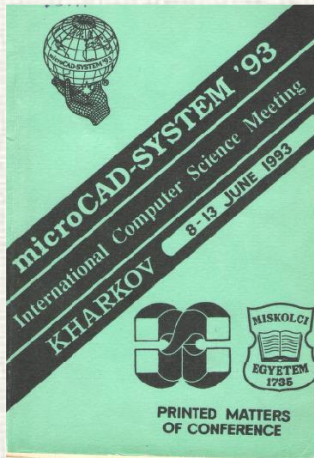
# Вітання з першої столиці



# Історичні аспекти



# Так починався microCAD





# Електрохімія функціональних матеріалів і систем : ВИТОКИ







## Наукова школа Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» «Електрохімічний дизайн функціональних матеріалів: прогнозування, синтез, діагностика»

За роки незалежності в Україні було започатковано наукові дослідження у галузі електрохімічного матеріалознавства, спрямовані на розбудову фундаментальних наукових положень та розробку принципів нерованого електрохімічного синтезу металевих, оксидних, полімерних та композиційних матеріалів з прогнозованими структурою, складом і функціональними властивостями. Такі матеріали користуються попитом в електрохімічній енергетиці, нано- та мікроелектроніці, електрохімічному синтезі товарних продуктів та використовуються практично в усіх сучасних високотехнологічних виробництвах. Розв'язання завдань цих досліджень вимагало розробки наукового підґрунтя інноваційних технологій, серед яких важливу роль відведено нерованому електрохімічному дизайну функціональних матеріалів і систем, теорія та практика якого і склали новітню парадигму досліджень наукової школи Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», яка позиціонується як «Електрохімічний дизайн функціональних матеріалів: прогнозування, синтез, діагностика».

Формування наукового напрямку почалося у 1980-х рр. під впливом завідувача кафедри технічної електрохімії професора Ф. Н. Андрющенна, який захоплював молодих науковців до опанування новітніх засобів досліджень, залучення електронно-обчислювальної техніки, поєднання нагальних потреб виробництва з високим рівнем узагальнення одержаних результатів. Цей період співпав з широким впровадженням методів математичного моделювання в практику наукових досліджень у галузі хімічних технологій та початком серійного випуску вітчизняних автоматизованих багатофункціональних приладів для електрохімічних вимірювань. За цих обставин і було започатковано напрям наукового пошуку, у рамках якого сформувалася наукова школа. Згодом навколо фундаторів наукової школи докторів наук, професорів М. Д. Сахненка та М. В. Ведь сформувалася наукова група аспірантів і однодумців, до складу

якої в різні роки входили Т. П. Ярошун, Ю. Л. Алєксандров, О. П. Поспєлов, І. І. Степанова, Т. О. Нєнастіна.

Тематика наукової діяльності творчого колективу формувалась на основі запитів підприємств і організацій різних галузей промислового комплексу СРСР та України, зокрема суднобудівної — ЧФ ЦНДІ ТС (м. Севастополь), ЦНДІ НМ «Прометей» (м. Санкт-Петербург), НДПІ «Морнефтегаз» (м. Харків), з-д «Янтарь» (м. Калінінград), НБ «Меридіан» (м. Харків); хімічної — концерн «СТИРОЛ» (м. Горлівка); атомної енергетики — НДНІЕТ (м. Москва), ННЦ ХФПІ (м. Харків); машинобудівної — НП ХНБД, НВФ «Технологія», ТОВ «Енотехніна» (м. Харків). Розбудові наукової школи значно посприяли угоди про співпрацю з Інститутом фізичної хімії АН Польщі (м. Варшава), Казахським національним університетом ім. Аль-Фарабі (м. Алмати), ХНУ ім. В. Н. Каразіна та ФТІНТ ім. Б. І. Веріна (м. Харків), ФМІ ім. Г. В. Карпенка (м. Львів), ІЗНХ ім. В. І. Вернадського НАН України (м. Київ) та міжнародні гранти STCU, INTAS, NATO.

Здобули міжнародне визнання і сприяли утвердженню високого авторитету вітчизняної науки у світі отримані авторами визначні результати досліджень у царині електрохімічного матеріалознавства. Серед численних досягнень наукової школи: проєнтування функціональних покриттів і систем за результатами розрахунків із застосуванням сучасних інформаційних технологій, зокрема штучних нейронних мереж, на підґрунті фундаментальних властивостей і атомно-молекулярних характеристик



Ректор НТУ «ХПІ» Євген Сокол, Ірина Єрмоленко та Ганна Каракурчі — переможці Всеармійського нонкурсу «Нраций винахід рону»



Міністерка МОН України Лілія Гриневич вручає Грамоту Верховної Ради України М. Ведь, 2018 р.

# Електрохімія функціональних матеріалів і систем : наукова школа



# Електрохімія функціональних матеріалів і систем : визнання



НАЦІОНАЛЬНА ПРЕМІЯ УКРАЇНИ  
ІМЕНІ БОРИСА ПАТОНА



## Електрохімія функціональних матеріалів і систем

Автори сформулювали концепцію електрохімічного дизайну нових функціональних матеріалів на основі системного розвитку теорії макрокінетики розряду – іонізації комплексних сполук.

Розроблено оригінальні підходи інженерії поверхні до електрохімічного синтезу та оброблення матеріалів, що придатні до роботи в екстремальних температурно-силових режимах за одночасного впливу агресивного середовища.

Створено широкий спектр нових конкурентноздатних матеріалів на основі металів і сплавів, неорганічних та органічних сполук, металічних, оксидних і полімерних систем, композиційних і гібридних матеріалів, які за своїми експлуатаційними властивостями перевищують відомі світові аналоги (електро- та фотокаталізатори, гальванопокриття, електродні та електролітні матеріали хімічних джерел струму та суперконденсаторів, сорбційні та оптичні системи).

Комплекс теорій процесів електроосадження, створений авторами, дав змогу розробити та впровадити у промисловість ефективні методи керування електрохімічними технологічними процесами. Впроваджено екологічно безпечні технології одержання функційних матеріалів із заданими властивостями, способи рециклінгу та електровилучення металів із рудної та вторинної сировини електрохімічними методами.

Отримано 7 патентів України на винахід, 7 міжнародних патентів – Казахстану, Китаю, США.

12



ЛАУРЕАТИ НАЦІОНАЛЬНОЇ ПРЕМІЇ УКРАЇНИ  
ІМЕНІ БОРИСА ПАТОНА

Інститут загальної та неорганічної хімії ім. В.І.Вернадського НАН України



**Геннадій КОЛБАСОВ**  
доктор хімічних наук,  
член-кореспондент  
НАН України



**Валерій КУБЛАНОВСЬКИЙ**  
доктор  
хімічних наук



**Оксана БЕРСИРОВА**  
доктор  
технічних наук

Львівський національний університет імені Івана Франка



**Олександр РЕШЕТНЯК**  
доктор  
хімічних наук

Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут"



**Микола САХНЕНКО**  
доктор  
технічних наук



**Марина ВЕДЬ**  
доктор  
технічних наук

Національний університет "Львівська політехніка"



**Орест КУНТИЙ**  
доктор  
технічних наук

Інститут фізичної хімії ім. Л.В.Писаржевського НАН України



**Олег ПОСУДІЄВСЬКИЙ**  
доктор  
хімічних наук

13

# **Електрохімія функціональних матеріалів і систем : сьогодні**





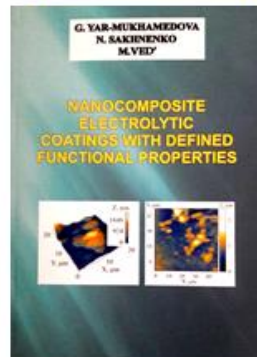
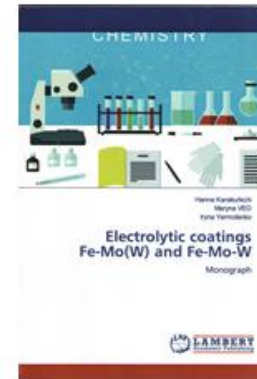
# ПУБЛІКАЦІЇ

Новизну та конкурентоспроможність технічних рішень захищено 115 патентами, з яких 33 діючі, та 5 – міжнародними патентами



Наукові результати висвітлено у 19 монографіях, 28 розділах у колективних монографіях, впроваджено в освітній процес різних ЗВО МОН України.

# Декілька монографій





РОБОТА НА ЗДОБУТТЯ ДЕРЖАВНОЇ ПРЕМІЇ УКРАЇНИ  
В ГАЛУЗІ НАУКИ ТА ТЕХНІКИ В 2021 р. ВИСУНУТА ВЧЕНОЮ РАДОЮ  
ІНСТИТУТУ ЗАГАЛЬНОЇ ТА НЕОРГАНІЧНОЇ ХІМІЇ ІМ. В.І. ВЕРНАДСЬКОГО  
НАЦІОНАЛЬНОЇ АКАДЕМІЇ НАУК УКРАЇНИ



Інститут загальної та неорганічної хімії ім. В.І. Вернадського НАН України, м.Київ  
Інститут фізичної хімії ім. Л.В. Писаржевського НАН України, м.Київ  
Львівський національний університет ім. Івана Франка МОН України, м.Львів  
Національний університет "Львівська політехніка" МОН України, м.Львів  
НТУ "Харківський політехнічний інститут" МОН України, м.Харків

## Електрохімія функціональних матеріалів і систем



# МЕТА РОБОТИ

Розроблення теоретичних основ спрямованого синтезу та створення широкого спектру нових конкурентоздатних матеріалів і систем на основі встановлення структурно-функціональних закономірностей їх електрохімічного формування

## ЧЕТВЕРТА ІНДУСТРІАЛЬНА РЕВОЛЮЦІЯ



Робота спрямована на **розв'язання цілої ланки важливих науково-практичних проблем**, що потребувало розробки узагальненого теоретичного підґрунтя для вдосконалення вже існуючих і створення нових електрохімічних технологій, що будуть відповідати **революційним вимогам сьогодення та найближчого майбутнього (INDUSTRY 4.0)** - концепції керованого електрохімічного синтезу функціональних матеріалів і систем з прогнозованими властивостями, з'ясування механізмів їх утворення та виявлення взаємозв'язку між складом, структурними особливостями та властивостями.

**Основні напрямки досліджень** даної роботи стосуються електрохімії, як безпосередньо **метода синтезу нових матеріалів** - шляхом їх формування (MEMS-технології, темплатний синтез, наноелектрохімія) або електролізу, як способу формування функціональних / поліфункціональних шарів на поверхні конструкції-носія, так і **дослідження та дизайну електрохімічних властивостей** отриманих матеріалів / покриттів для забезпечення кінцевому високотехнологічному виробу відповідного функціонального призначення, підвищення його конкурентоздатності.



# УПРАВЛІННЯ ЕЛЕКТРОХІМІЧНИМИ СИСТЕМАМИ РІЗНОГО РІВНЯ СКЛАДНОСТІ

## КОНСТРУЮВАННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ І СИСТЕМ

### Загальний алгоритм включає наступні етапи:

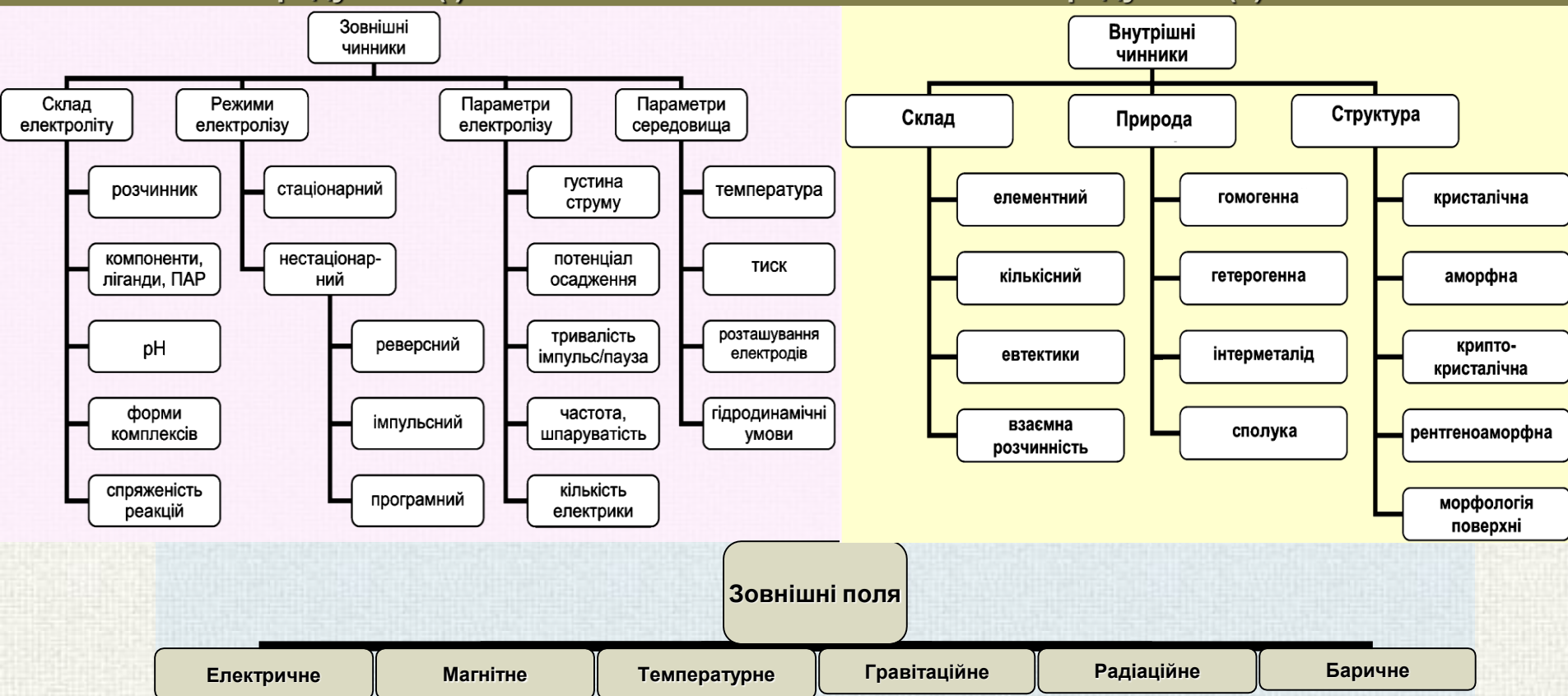
1. Створення бази даних для опису об'єктів проектування
2. Моделювання
3. Побудова прогнозої оцінки за результатами моделювання
4. Функціоналізація розв'язків

## Електрохімічне формування функціональних властивостей

(на прикладі електролітичних сплавів):

### Передумови (I)

### Передумови (II)



# УПРАВЛІННЯ ЕЛЕКТРОХІМІЧНИМИ СИСТЕМАМИ РІЗНОГО РІВНЯ СКЛАДНОСТІ

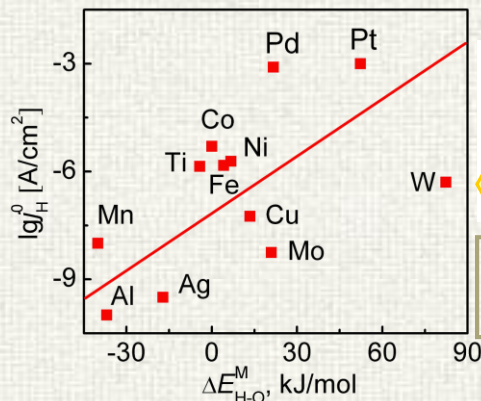
## КОНСТРУЮВАННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ І СИСТЕМ

### Побудова прогнозої оцінки за результатами моделювання

#### Принципи селекції сплавотвірних компонентів

Наявність сировинної бази  
 Можливість рециклінгу  
 Високі споживчі властивості  
 Низька токсичність  
 Здатність до співсаджень  
 Термодинамічна сумісність  
 Імовірність синергізму  
 Прогнозні оцінки та ін.

#### Селекція сплавотвірних компонентів за атомно-молекулярними характеристиками



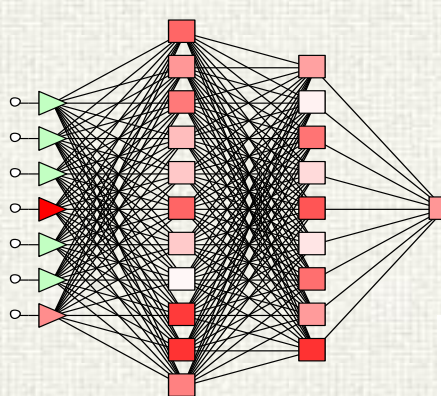
Адитивні сплави  
 Pd-Ni, Co-Fe...

Біфункціональні (синергетичні) сплави  
 Co-W, Ni-W, Ni-Mo, Co-Mo, Co-Ag...

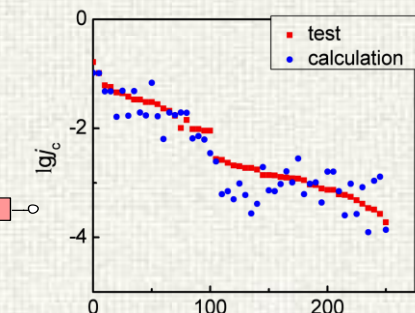
Густина струму обміну водню як функція різниці енергій зв'язку "metal-H" и "metal-O"

### Застосування засобів штучного інтелекту до аналізу властивостей електрохімічних систем

#### Архітектура штучної нейронної мережі для прогнозування швидкості корозії сплаву Ni-W

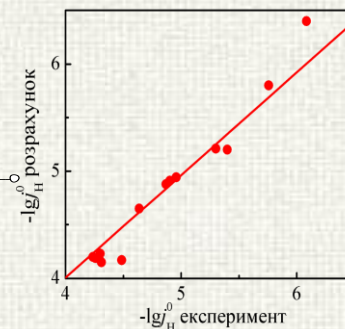
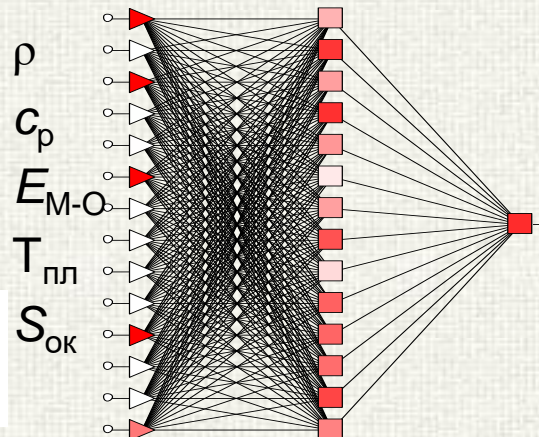


Найбільш значущі чинники:



Вміст вольфраму;  
 Провідність металів і їх оксидів;  
 Ентальпія оксидів  $WO_3$ ,  $NiO$ ;  
 Ентропія оксидів  $WO_3$ ,  $NiO$ .

#### Архітектура ШНМ для прогнозування електрокаталітичної активності сплаву Co-W і головні чинники впливу





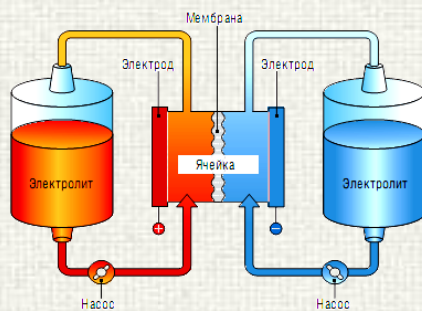
# ЕЛЕКТРОХІМІЧНИЙ ДИЗАЙН МЕТАЛІВ, СПЛАВІВ, КОМПОЗИЦІЙНИХ ПОКРИТТІВ ДЛЯ ЕКО- І ЕНЕРГОТЕХНОЛОГІЙ

## Інноваційні технології формування покриттів композитами і синергетичними сплавами

Матеріали наносенсорної діагностики



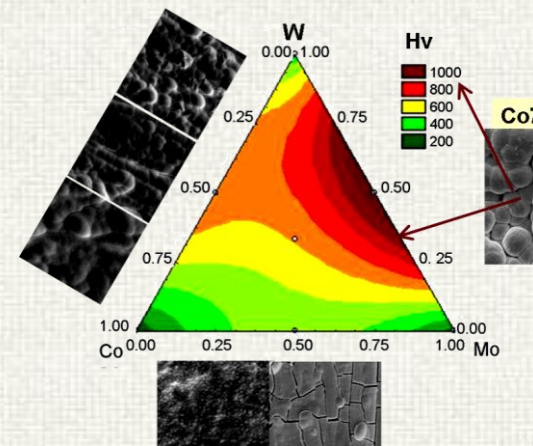
Каталітичні матеріали протічних акумуляторів електричної енергії



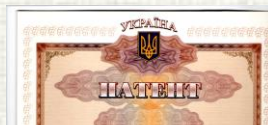
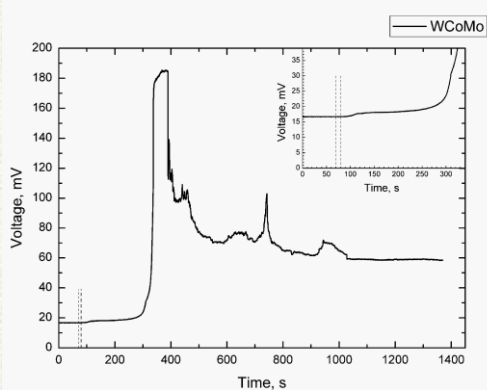
Фотокаталітичні матеріали для знешкодження токсидів



Покриття сплавами CoMo високої мікротвердості для захисту і зміцнення поверхні



Точково-контактний газовий сенсор на базі електрохімічно синтезованої мультиструктури з тернарного сплаву



**HERBY FLOW BATTERIES — PERSPECTIVE MEANS OF ELECTROCHEMICAL ENERGY STORAGE**

У статті розглянуто основні принципи роботи гербіяних протічних акумуляторів, а також їхні переваги та недоліки. Розглянуто перспективи розвитку цих акумуляторів, зокрема в контексті використання наноструктурованих каталітичних матеріалів.

**1. Вступ**

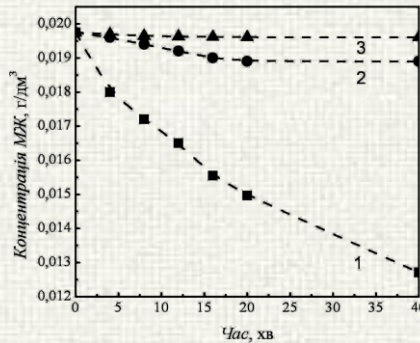
Гербіяні протічні акумулятори (PFB) є одним з найбільш перспективних типів акумуляторів для зберігання енергії в великій кількості. Вони мають низьку енергетичну щільність, але високу потужність та довгий термін служби. Вони також можуть використовуватися для зберігання енергії в системі з відновлюваними джерелами енергії.

**2. Принцип роботи**

Гербіяні протічні акумулятори складаються з двох камер, кожна з яких містить електроліт та каталітичний матеріал. Електроліти в обох камерах різні, що дозволяє зберігати енергію в формі хімічних сполук електроліта. Під час зарядки електроліти в обох камерах окислюються, а під час розрядки — відновлюються.

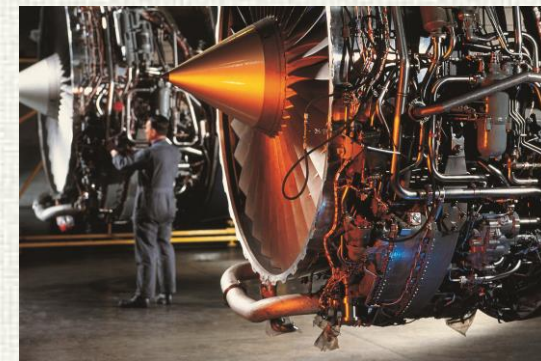
**3. Переваги та недоліки**

Гербіяні протічні акумулятори мають низьку енергетичну щільність, але високу потужність та довгий термін служби. Вони також можуть використовуватися для зберігання енергії в системі з відновлюваними джерелами енергії.



Динаміка очищення стічної води від нітрогеновмісних токсидів:

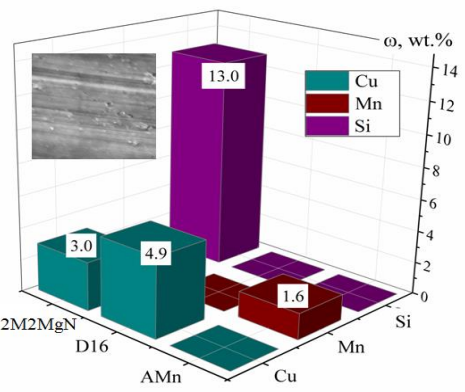
- 1.Каталізатор + УФ
2. УФ без каталізатора;
3. Без УФ та каталізатора



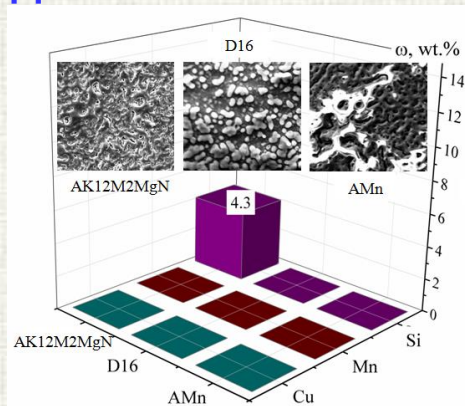
# ЕЛЕКТРОХІМІЧНИЙ ДИЗАЙН МЕТАЛІВ, СПЛАВІВ, КОМПОЗИЦІЙНИХ ПОКРИТТІВ ДЛЯ ЕКО- І ЕНЕРГОТЕХНОЛОГІЙ

## Інноваційні технології формування покриттів композитами і синергетичними сплавами

Гомогенізація поверхні та її гетерорезистивність

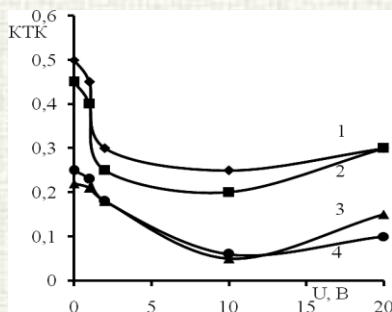
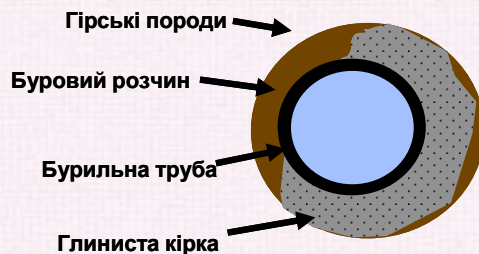


До ПЕО



Після ПЕО

Попередження та подолання аварій при бурінні свердловин на нафту та газ



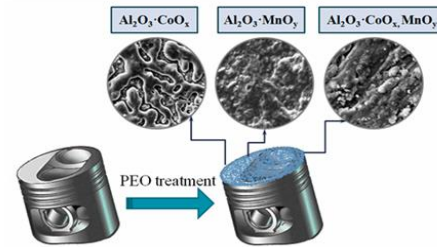
Залежність коефіцієнту тертя фільтраційних кірок, отриманих з бурових розчинів зі свердловин № 152 Гадяцького ГКР (1), № 125 Куличівського ГКР (2), № 112 Березівського ГКР (3), № 121 Березівського ГКР (4) від напруги поляризації.

Багатокомпонентні металоксидні покриття для внутрішньоциліндрового каталізу в ДВЗ

Каталітичний покритв  $AL_{25}|Al_2O_3 \cdot CoO_x$  нанесено на робочу поверхню поршня

Мікроглобулярна поверхня оксидного покритву є підґрунтям високої каталітичної активності в гетерогенних red-ox реакціях

Каталітична активність  $Al_2O_3 \cdot CoO_x (MnO_x)$  покриттів на поршневому сплаві AK12M2MgN



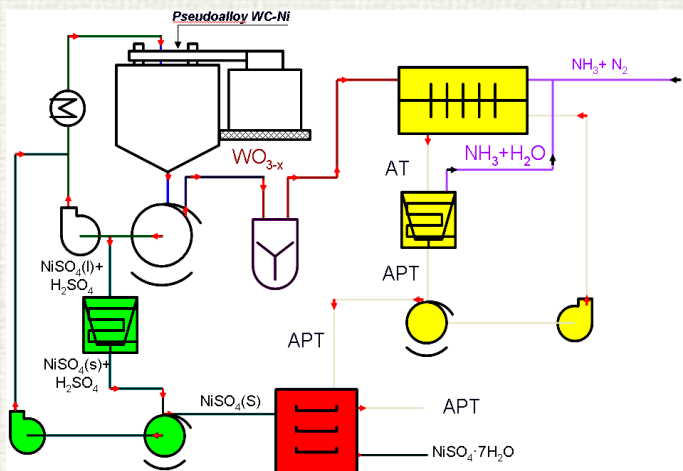
Оксидна система	Зниження емісії токсикантів, %		Економія палива, %
	NO <sub>x</sub>	CO	
$Al_2O_3 \cdot MnO_x$	to 6.5	5.0-7.0	3.0-4.0
$Al_2O_3 \cdot CoO_x$	to 10.0	10.0-15.0	1.0-1.5



# ЕЛЕКТРОХІМІЧНИЙ ДИЗАЙН МЕТАЛІВ, СПЛАВІВ, КОМПОЗИЦІЙНИХ ПОКРИТТІВ ДЛЯ ЕКО- І ЕНЕРГОТЕХНОЛОГІЙ

**Інноваційні технології: “green”-chemistry, функціональні матеріали подвійного призначення**

**Перероблення псевдосплавів WC-Ni  
електрохімічною конверсією з  
отриманням товарних продуктів**



**Нова “зелена” технологія  
металевих порошків і товарних  
реактивів електролізом й  
електрохімічною цементацією  
магнієм, які дають змогу  
використати вторинну сировину  
кольорових і рідкісних металів.**

**Утилізація залишкового  
озброєння**



**Відновлення елементів  
військової техніки**



**Нова технологія підвищення  
функціональних  
властивостей конструкційних  
матеріалів і відновлення  
відпрацьованих чи зношених  
поверхонь машин,  
механізмів, апаратів та  
обладнання, виготовлених з  
вуглецевих чи легованих  
сталей і чугунів.**

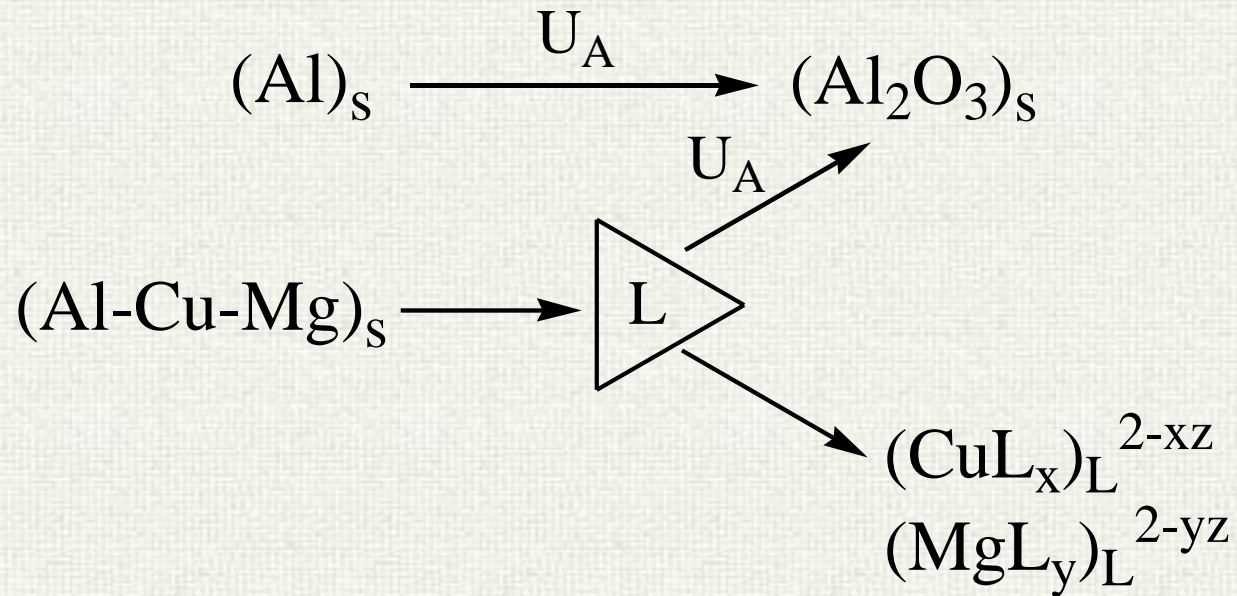
# **ГОМОГЕНІЗАЦІЯ ПОВЕРХНІ ВИСОКОЛЕГОВАНИХ СПЛАВІВ**



# Інженерія поверхні

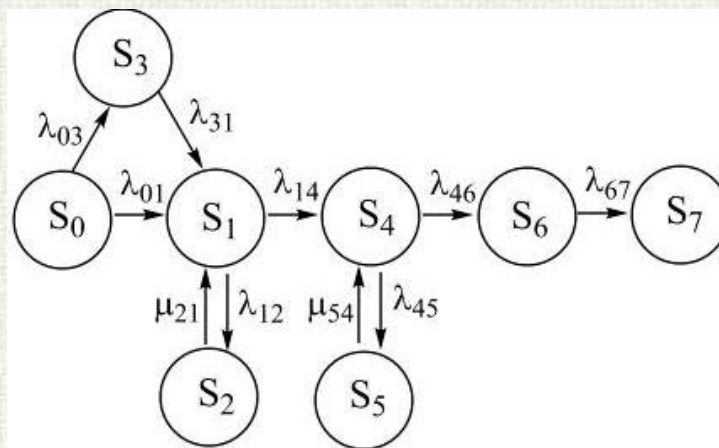
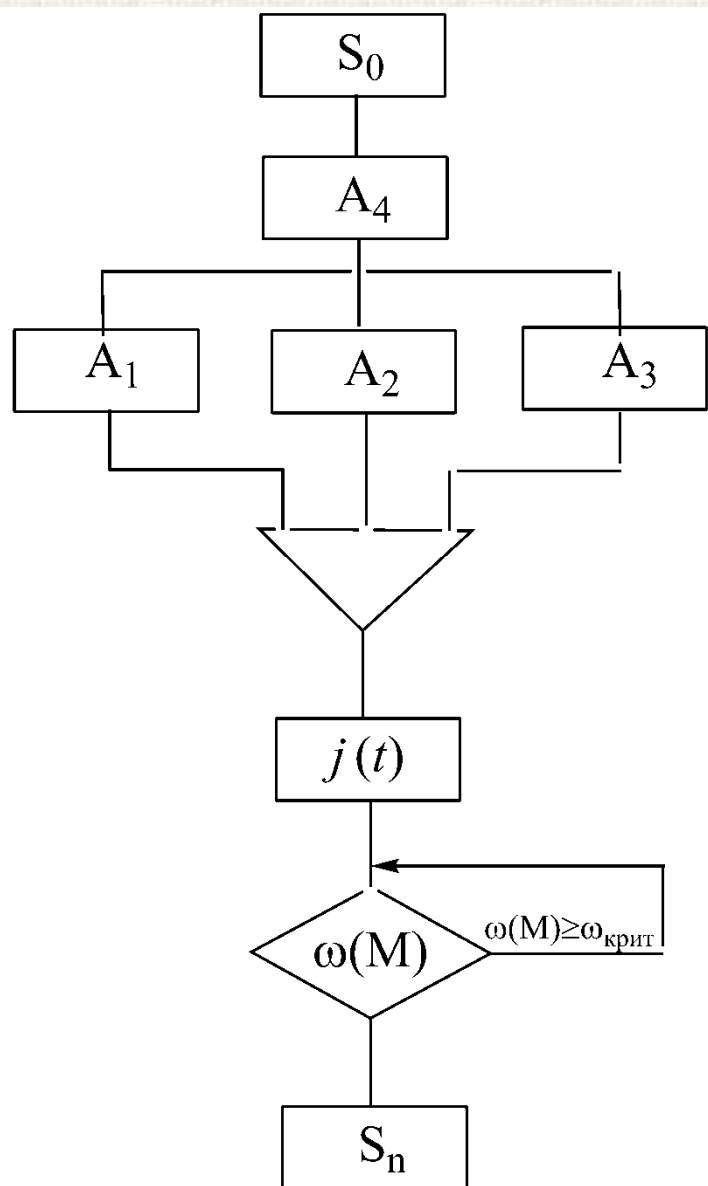
- Поверхнева обробка високолегованих сплавів алюмінію і титану для гомогенізації поверхні і усунення її гетерорезистивності.
- Обробка включає розчинення анодне легувальних компонентів з поверхневого шару в розчинах електролітів за присутності лігандів, що відповідають напередзаданим вимогам.
- За результатами поверхневої обробки будемо мати гомогенну оксидну матрицю оброблюваного металу (Al, Ti,..) з високою корозивною тривкістю.

# Гомогенізація поверхні легованих сплавів : сенс





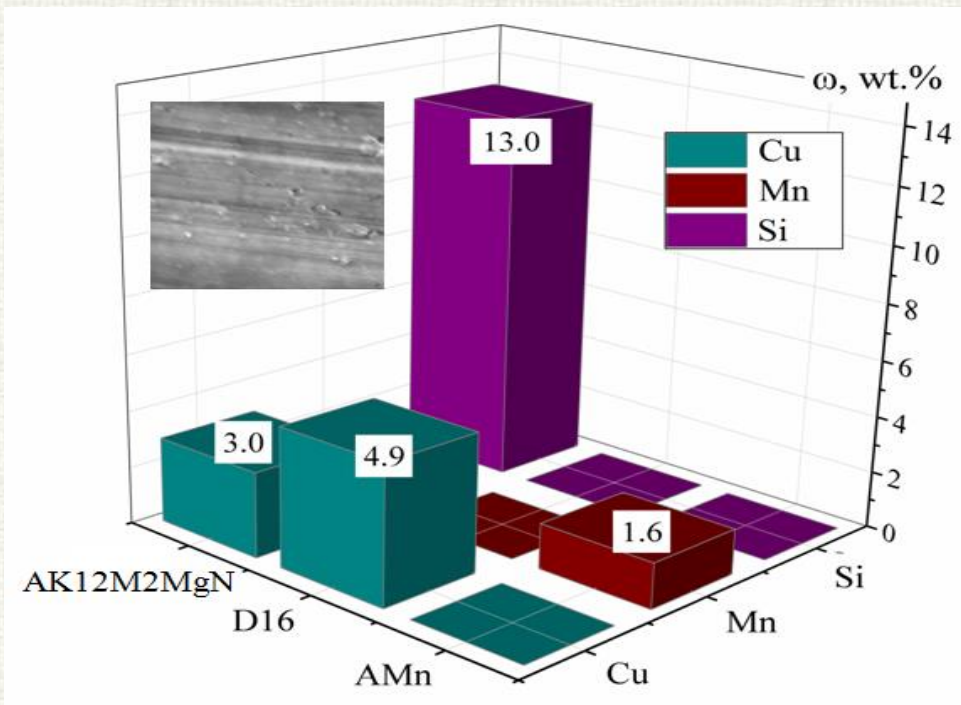
# Структурна схема плазмо-електролітної обробки легованих сплавів алюмінію (титану)



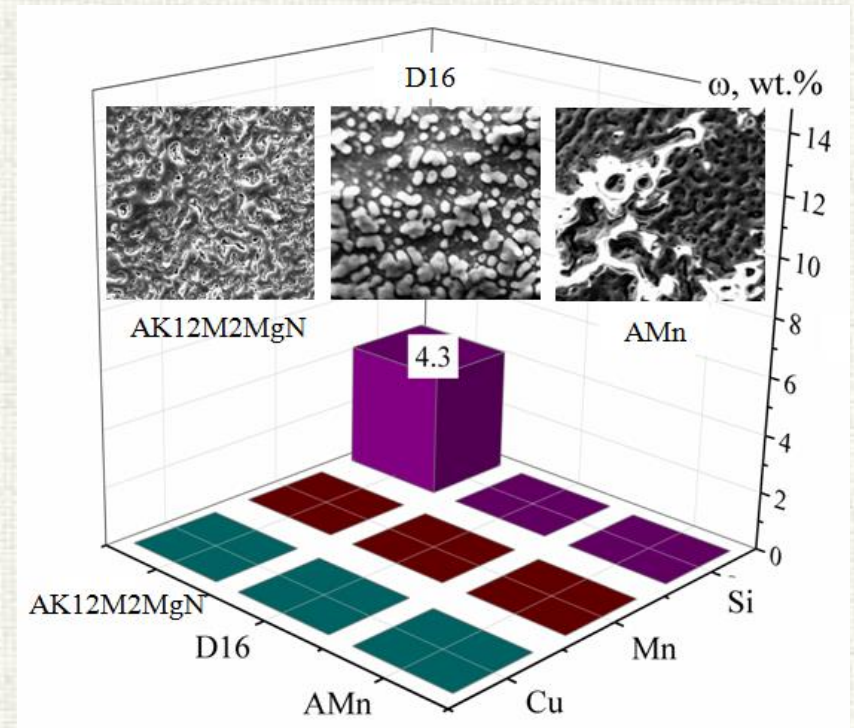
$S_0$  – вихідний стан;  $S_1$  – утворення фазового оксиду алюмінію (титану);  $S_2$  – розчинення фазового оксиду алюмінію (титану);  $S_3$  – гомогенізація поверхні;  $S_4$  – заліковування дефектів у зонах пробою;  $S_5$  – включення переплавів компонентів електроліту до складу покриття;  $S_6$  – формування монооксидної матриці;  $S_7$  – кінцевий стан поверхні

**вектор A1** – склад і співвідношення компонентів робочого електроліту;  
**вектор A2** – густина струму і часові параметри ПЕО;  
**вектор A3** – параметри напруги ( $U_i$ ,  $U_f$ );  
**вектор A4** – хімічна природа оброблюваного матеріалу.

# Приклади гомогенізації поверхні



Вихідний стан

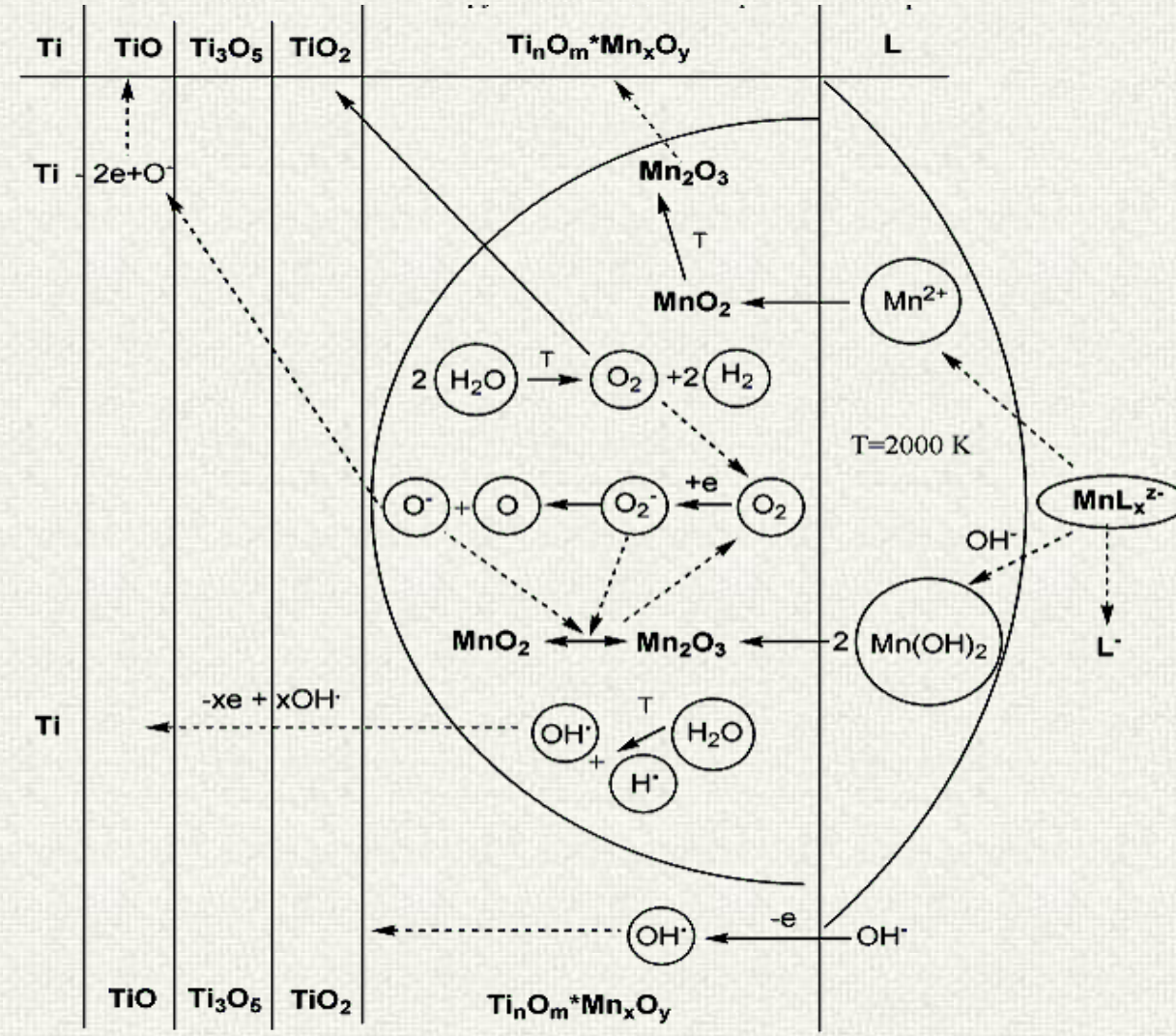


Після ПЕО



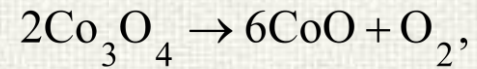
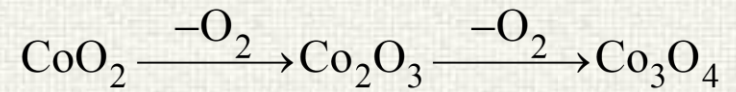
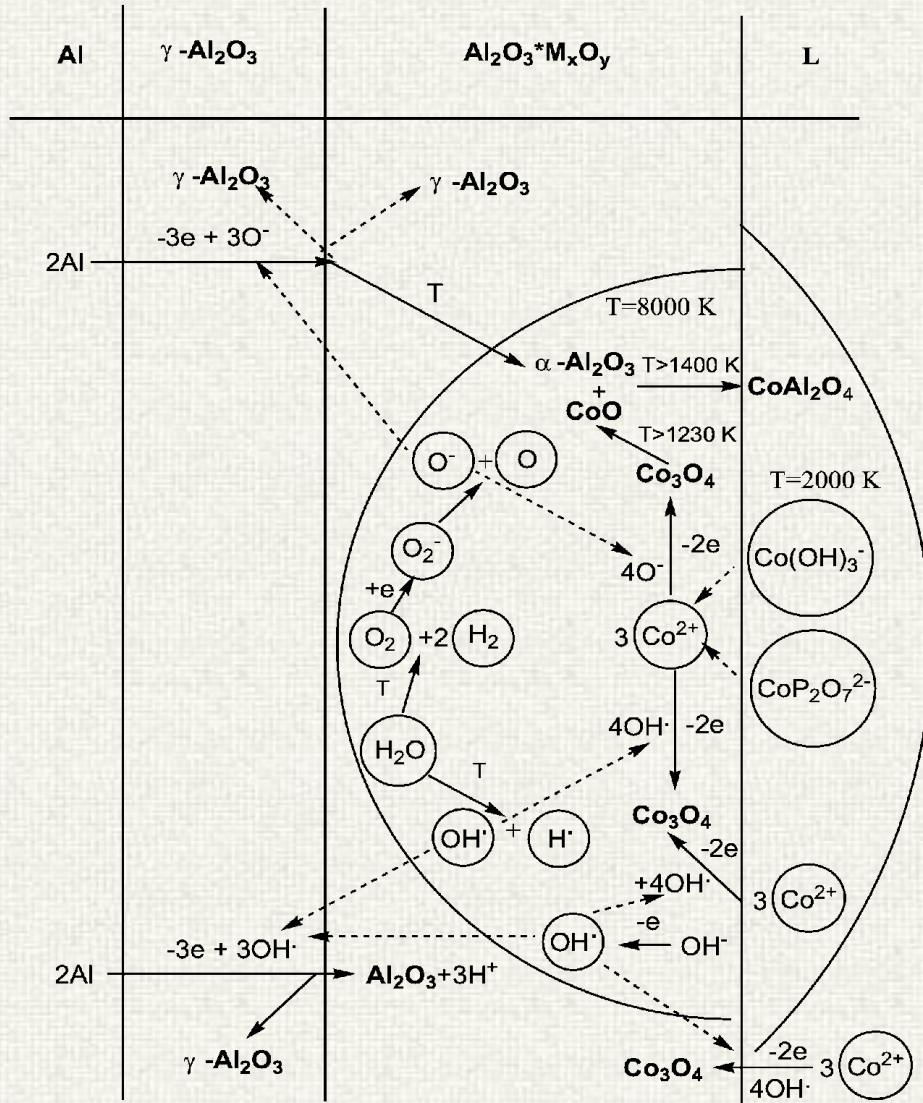
# **СТРАТЕГІЯ ФОРМУВАННЯ ПОКРИТТІВ ЗМІШАНИМИ ОКСИДАМИ**

# Схема формування покриття $TiO_xMnO_y$

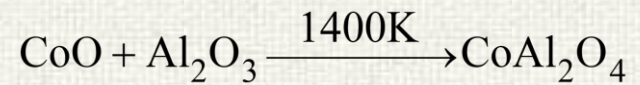




# Схема перетворень при ПЕО алюмінію у розчині $\text{CoSO}_4$



$$\Delta G_{298}^0 = 322,8 \text{ кДж}$$





## Покриття поршнів ДВЗ транспортних засобів і бронетехніки



Покриття з високими каталітичними та теплозахисними властивостями робочій поверхні поршнів ДВЗ, захищені 15 патентами України на винаходи, зменшують витрати палива та емісію токсичних газових викидів, зокрема на 10% оксидів азоту

Каталітичне покриття  
 $Al_2O_3 \cdot CoO_x$   
робочій поверхні  
поршня ДВЗ





# Зброя і безпека 2018

## НАУКА

В НТУ «ХПІ» успішно продовжується розвиток 40 наукових шкіл, результати їх діяльності визнані фахівцями України та світу, вони роблять вагомий внесок в економіку нашої держави. Наукові пошуки ведуться у фундаментальних та прикладних напрямках: з фізики металів і напівпровідників, електричного приводу, азотного синтезу, тепломасообміну й енергоощадження, керамічних і композиційних матеріалів, промислової та медичної електроніки, інформаційних технологій, систем управління, технології жирів, органічного палива, турбінобудування, танкобудування, високоєфективних технологій металообробки, технічної електрохімії, двигунів внутрішнього згоряння, механіки, фізики високої напруги, досліджень іоносфери Землі та ін. Протягом 2015–2019 рр. було виконано 201 бюджетну науково-дослідну роботу загальною вартістю понад 115 млн. грн., 782 госпдоговірні науково-дослідні роботи на суму понад 56 млн. грн.

## Мета — національна безпека

Національна безпека будь-якої країни визначається станом розвитку таких складових, як енергетика, екологія і економіка (Е-Е-Е). Науковці НТУ «ХПІ» роблять свій внесок у розбудову країни, у цій справі ефективним є поєднання зусиль окремих колективів у розв'язанні нагальних проблем сьогодення. Повною мірою до їх числа можна віднести і творчу співпрацю кафедр фізичної хімії і двигунів внутрішнього згоряння, спрямовану на пошук нових шляхів поліпшення екологічних і економічних параметрів транспортних двигунів, що врешті решт суттєво по-

ліпшує і економічну складову робочих процесів ДВЗ, тобто весь комплекс «Е-Е-Е».

Підґрунтям нашої співпраці стало вирішення завдань зі створення каталітичних і теплозахисних покриттів на поверхні поршнів ДВЗ, за присутності яких робочі процеси в камерах згоряння відбуваються в режимі внутрішньоциліндрового каталізу. Науковці лабораторії електрохімічного дизайну функціональних матеріалів (професори М.Д. Сахненко, М.В. Ведь) багато років плідно працюють над створенням новітніх матеріалів і по-



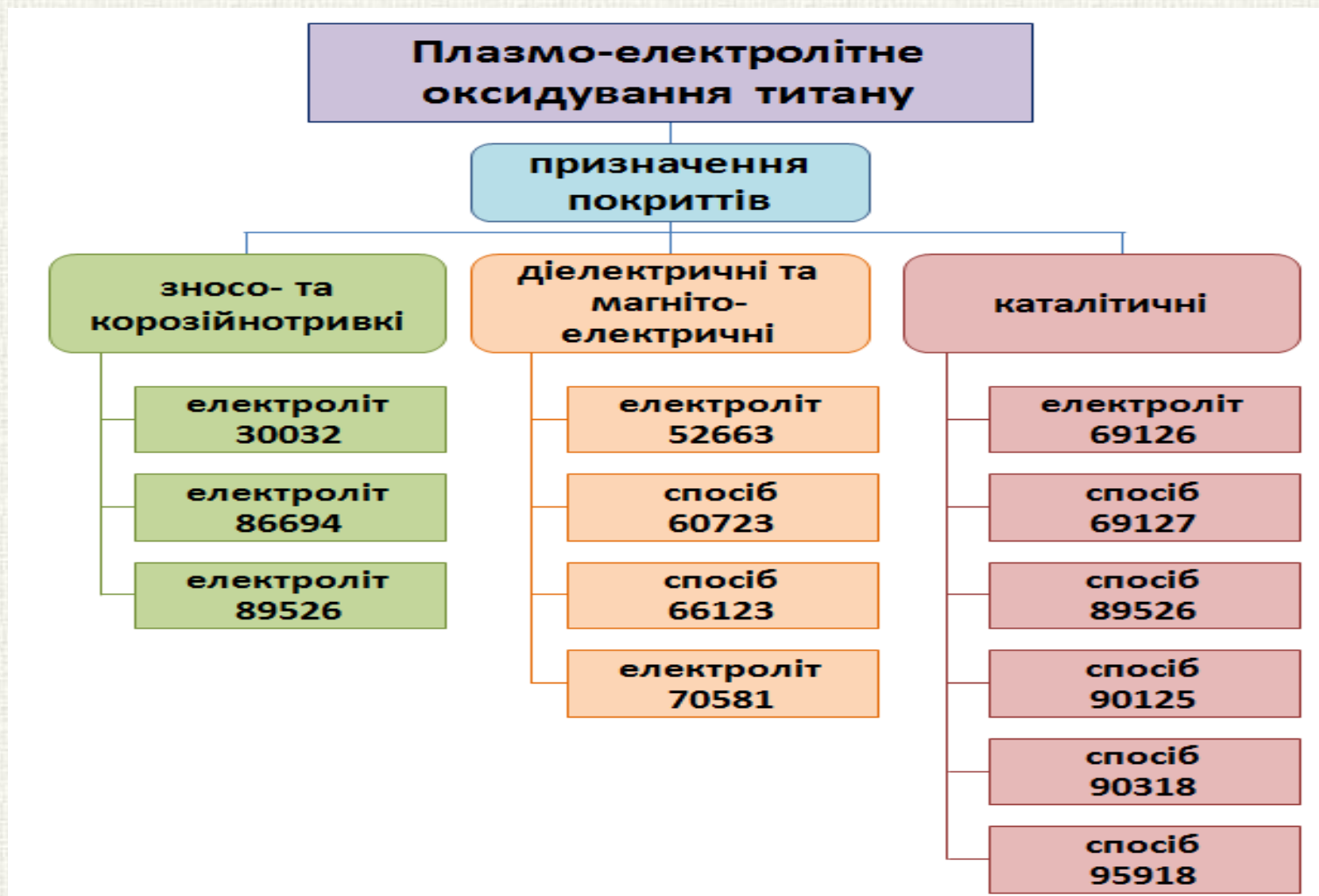
кривів, таких як металоксидні композити і багатокомпонентні синергетичні сплави з широким спектром галузей застосування — машинобудування, енергетика, екокаталіз та ін. Наукова група кафедри ДВЗ під керівництвом професора І.В. Парсаданова є визнаним лідером країни саме в царині екологізації транспортних ДВЗ. Тому цілком природним стало поєднання наших зусиль, ініційоване фахівцями науково-дослідної частини університету. Реалізація спільних напрацювань стала можливою в межах комплексного проекту МОН України, який поєднав зусилля ЗВО Харкова, Києва, Севе-родонецька. Нами було опрацьовано декілька науково-технічних рішень, які згодом були захищені патентами України та відзначені дипломами переможців на Всеармійських конкурсах «Кращий винахід року».

**Професор Микола Сахненко.**

Науковці НТУ «ХПІ» взяли участь у XV Міжнародній спеціалізованій виставці «Зброя та безпека—2018», де представили свої розробки в сфері оборонної промисловості. Серед них експонувався поршень ДВЗ з каталітичним покриттям, нанесеним за новою технологією, яка суттєво поліпшує його функціональні властивості.

На знімку: пояснення відвідувачам виставки дає проректор НТУ «ХПІ», лауреат Державної премії України в галузі науки і техніки,

# Функціональні моно- та гетерооксидні покриття на сплавах титану





# Ti/TiO<sub>x</sub>·MO<sub>y</sub> : слад (at.%) та морфологія поверхні

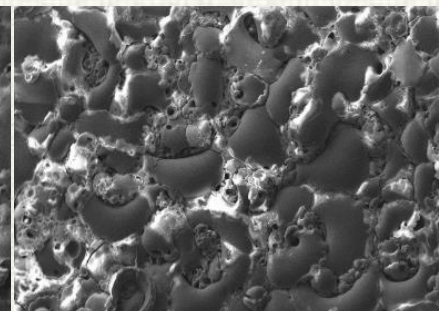
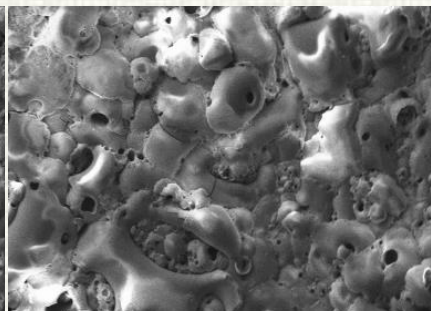
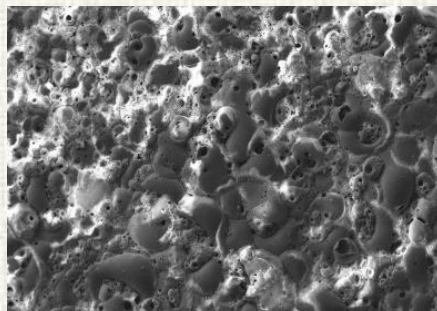
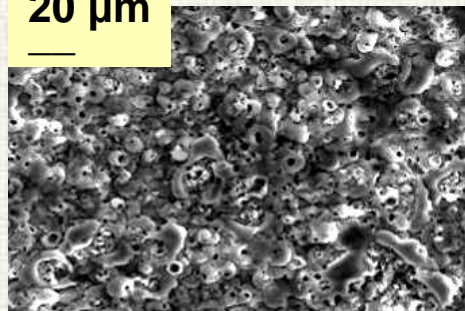
TiO<sub>x</sub>·MnO<sub>y</sub>

TiO<sub>x</sub>·CoO<sub>y</sub>

TiO<sub>x</sub>·FeO<sub>y</sub>

TiO<sub>x</sub>·NiO

20 μm



Ti – 21.5  
Mn – 5.7  
O – 61.5  
P – 10.1  
Інше – 1.2

Ti – 22.7  
Co – 5.4  
O – 60.3  
P – 10.2  
Інше – 1.4

Ti – 20.3  
Fe – 4.3  
O – 61.5  
P – 12.2  
Інше – 1.7

Ti – 20.9  
Ni – 3.9  
O – 62.1  
P – 11.8  
Інше – 1.3

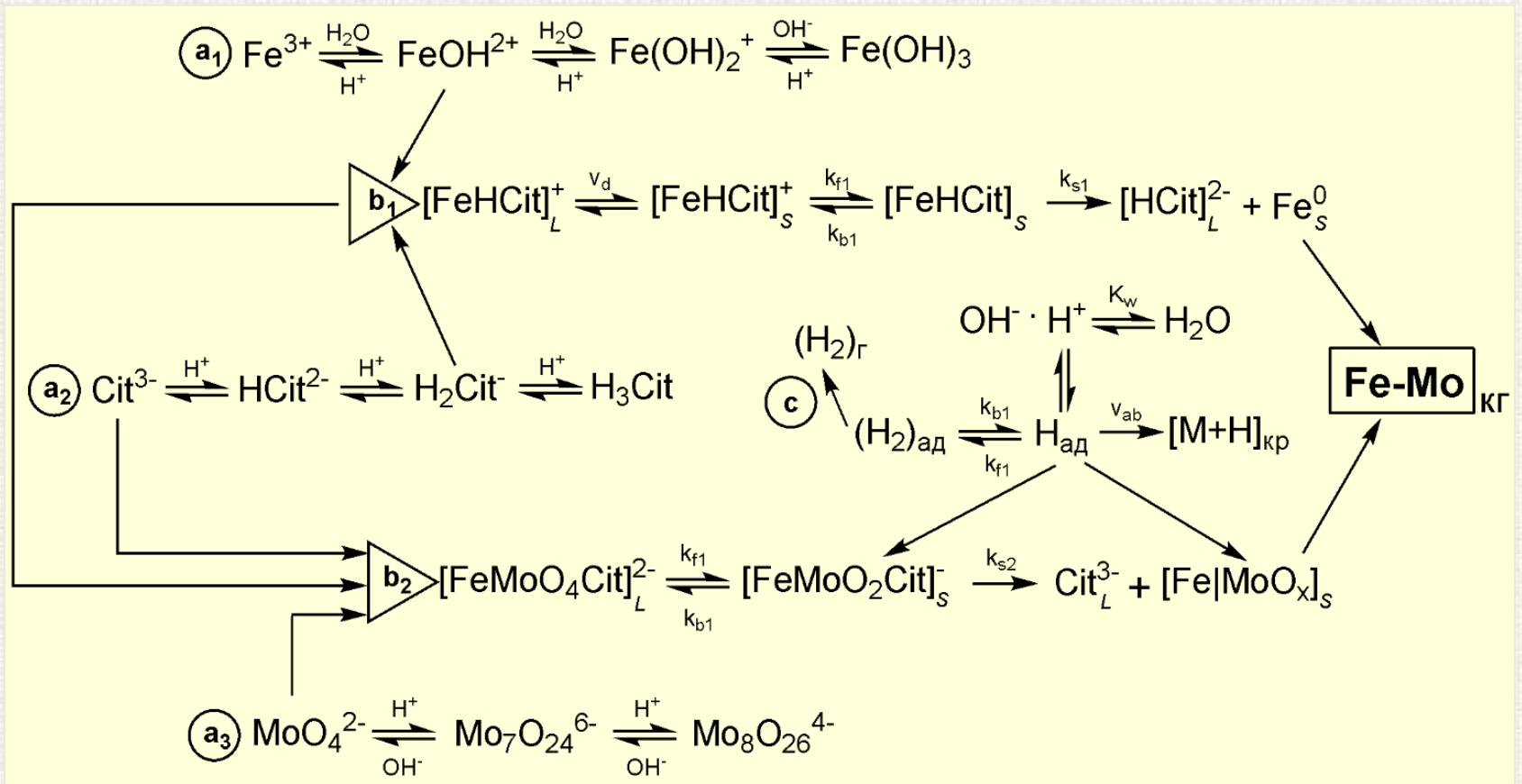
# Фотокаталітична активність ГОК

Оксидна система	Електроліт	Ступінь перетворення %	$k \cdot 10^2$ , $\text{хв}^{-1}$
Ti   TiO <sub>2</sub>	1M K <sub>4</sub> P <sub>2</sub> O <sub>7</sub>	51.1	1.39
Zn   ZnO		46.3	0.66
Ti   TiO <sub>x</sub> ·ZnO	1M K <sub>4</sub> P <sub>2</sub> O <sub>7</sub> ; 0.5M ZnO	94.90	2.97
	0.5M KOH	82.60	2.61
Ti   TiO <sub>2</sub>	0.5M H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	28.00	0.88
Zr   ZrO <sub>2</sub>		24.10	0.80
		1M K <sub>4</sub> P <sub>2</sub> O <sub>7</sub>	18.00
Ti   TiO <sub>x</sub> ·ZrO <sub>2</sub>	0.5M H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ; 0.1M ZrO <sub>2</sub>	59.00	1.69
	1M K <sub>4</sub> P <sub>2</sub> O <sub>7</sub> ; 0.1M ZrO <sub>2</sub>	53.92	1.45
Ti   TiO <sub>x</sub> ·VO <sub>y</sub>	1M K <sub>4</sub> P <sub>2</sub> O <sub>7</sub> ; 0.1M V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	68.90	1.89



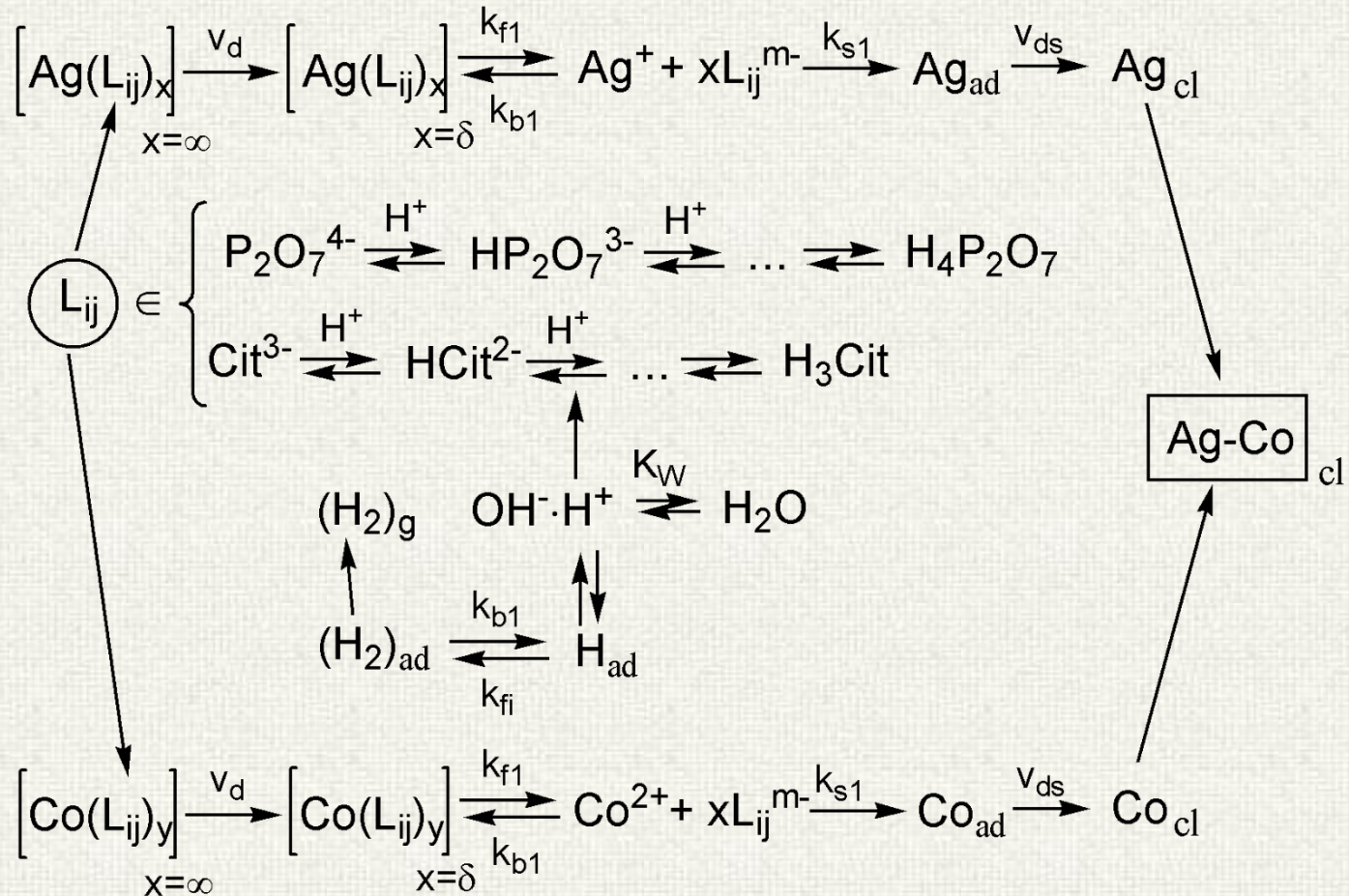
# **Синергетичні сплави**

# Схема перетворень при нанесенні покриття сплавом Fe-Mo

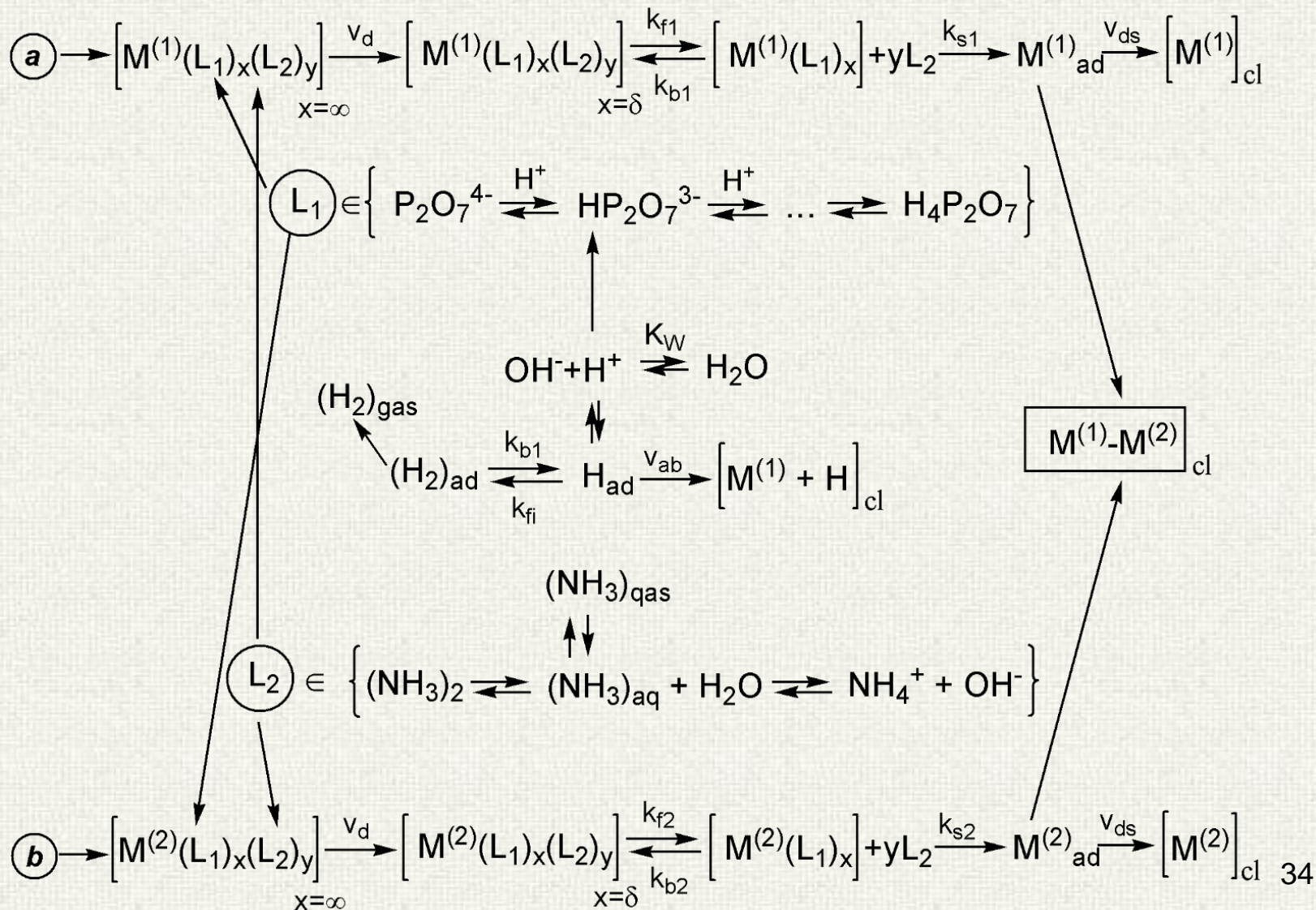




# Схема перетворень при нанесенні покриття сплавом Co-Ag

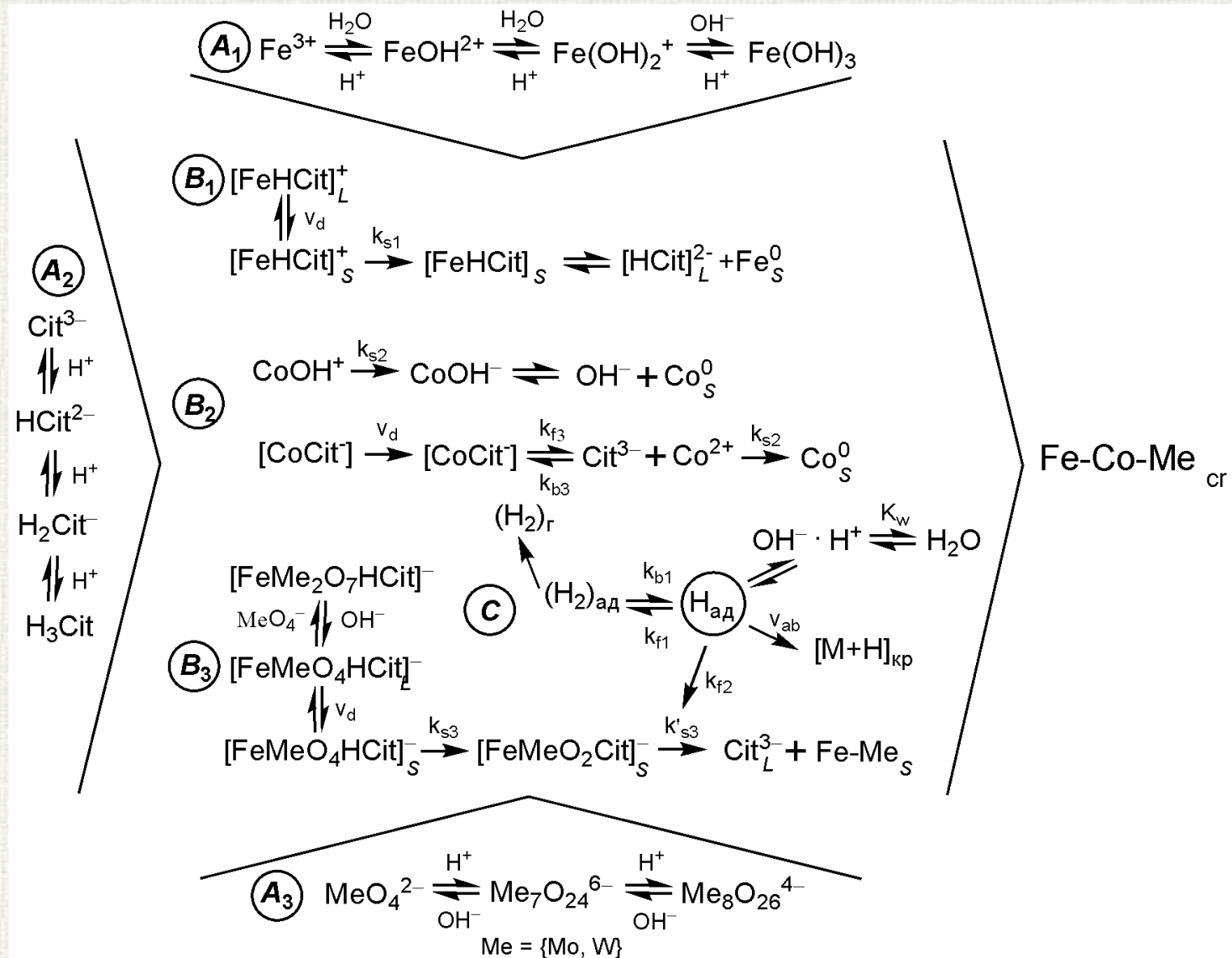


# Схема перетворень при нанесенні покриття сплавом Cu(Pd)-Ni

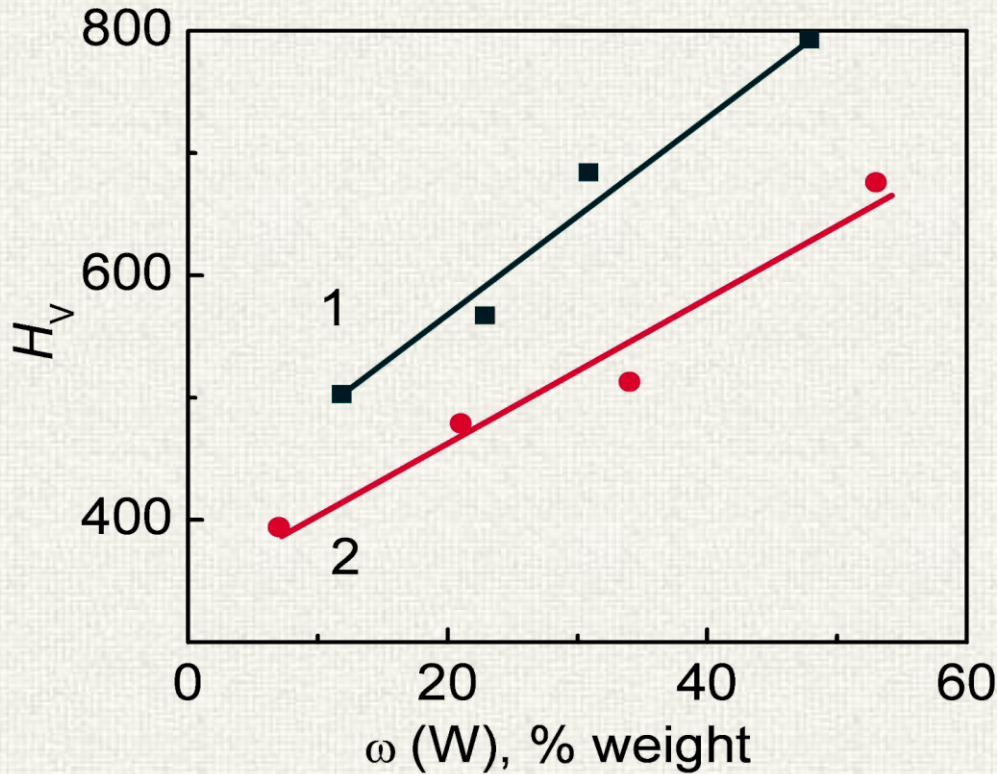




# Схема перетворень при нанесенні покриття покриттів тернарними сплавами



# Мікротвердість за Вікерсом покриттів сплавами Ni-W (1) і Co-W (2)

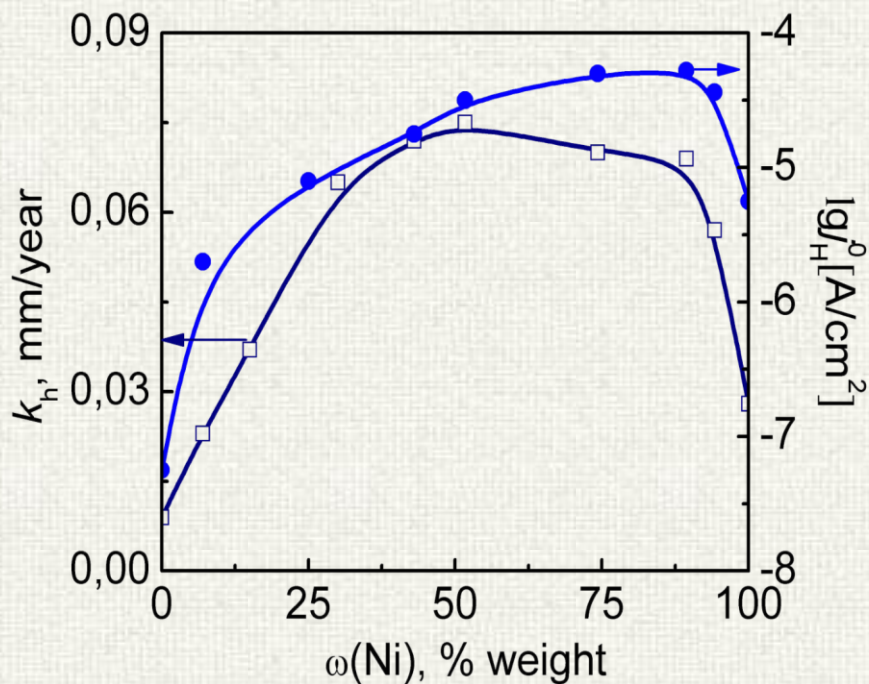


- $H_V(\text{Co}) = 130$
- $H_V(\text{Ni}) = 350$
- $H_V(\text{W}) = 400$

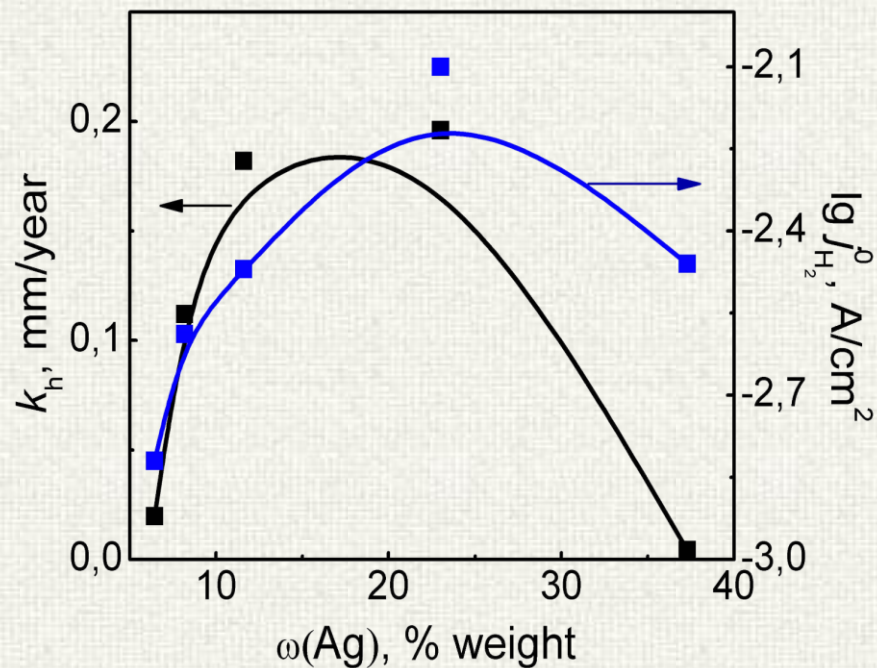


# Каталітична активність в реакції виділення водню і корозійна тривкість сплавів

## Ni-Cu (а) і Ag-Co (б)

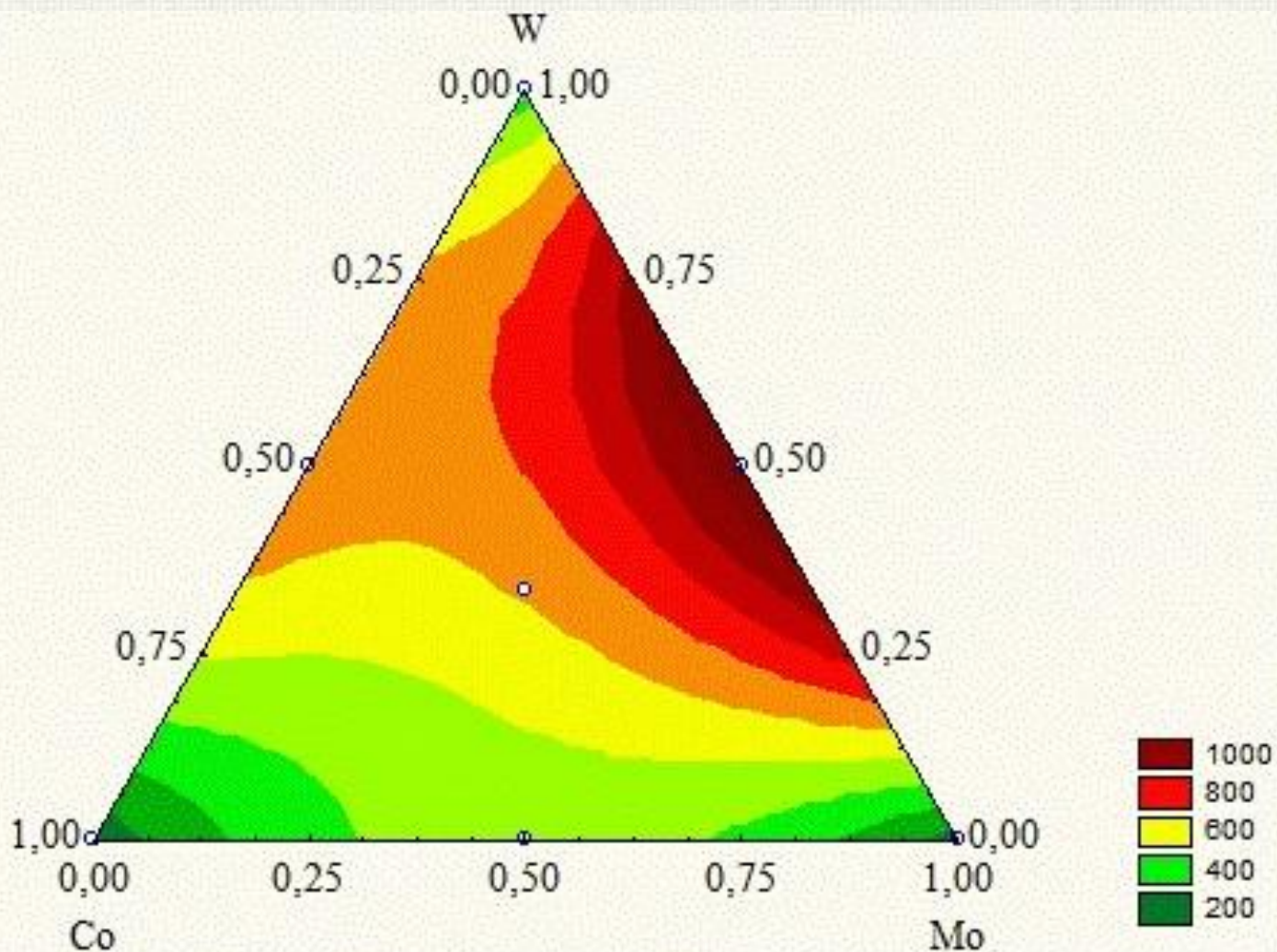


а



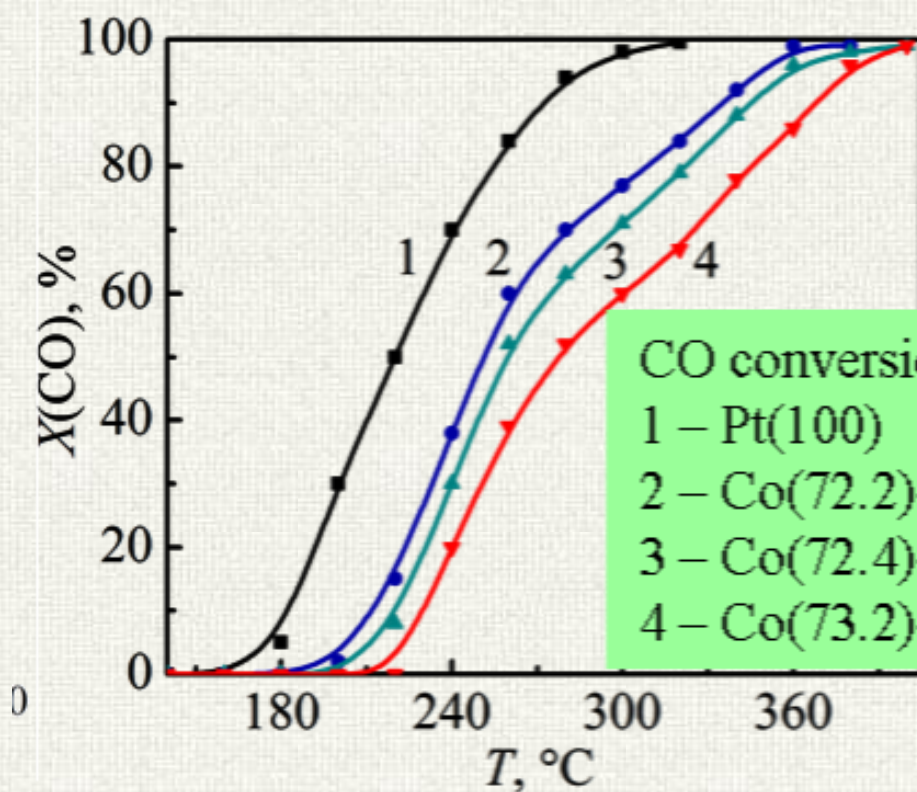
б

# Мікротвердість гальванічних покриттів сплавом Co–Mo–W

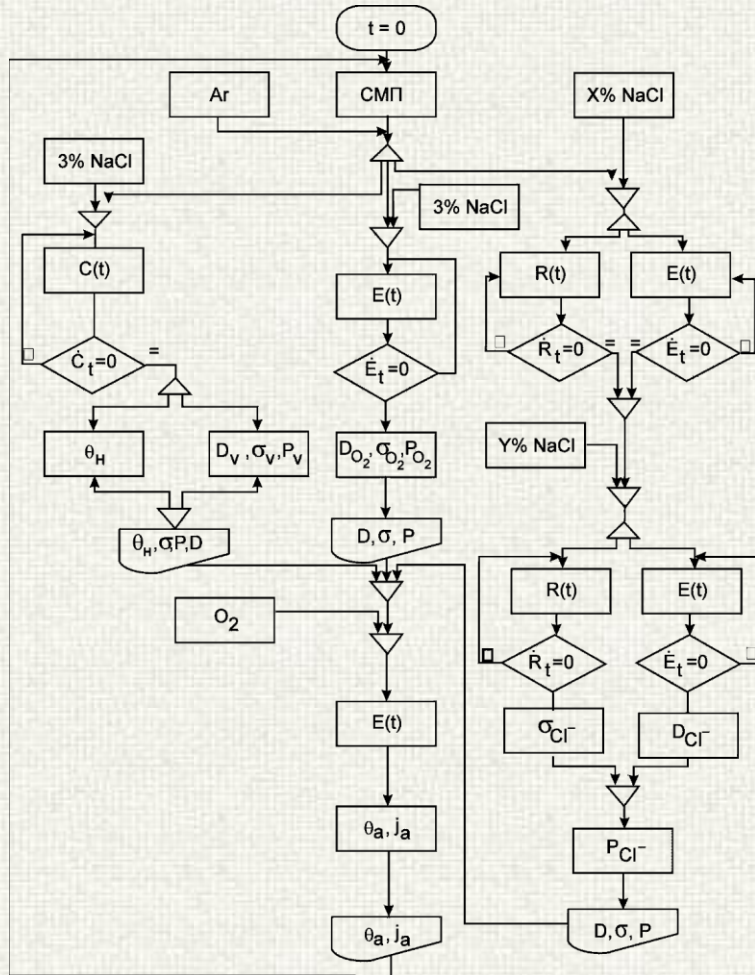




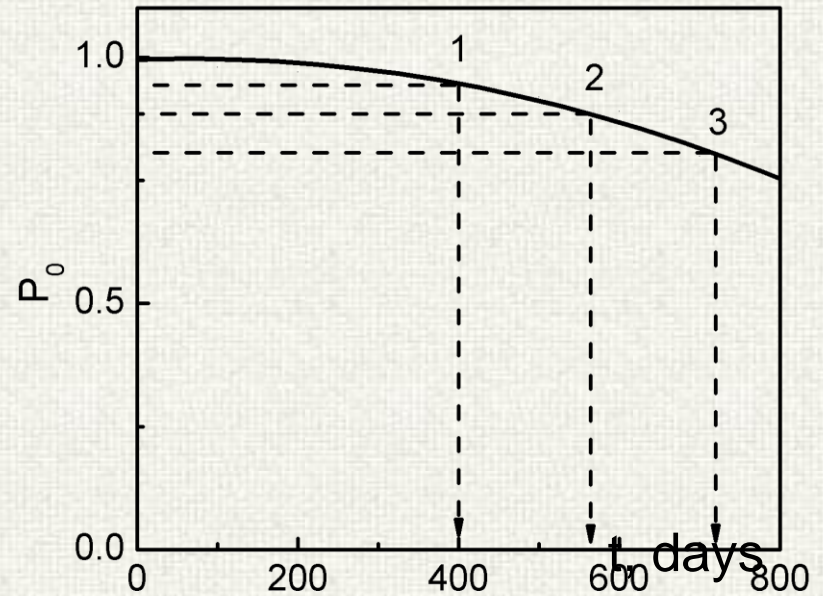
# Каталітична активність в реакції конверсії CO



# Прогнозування ресурсу полімерних і лакофарбових покриттів в умовах експлуатації



Процедура тестування



Прогнозування ресурсу

# Прогнозування ресурсу полімерних і лакофарбових покриттів в умовах експлуатації

Суспільство наше з часу плином,  
Глибин сягнувши і небес,  
Проблемам корозії час приділило,  
Живий явивши інтерес.

- І ось серед проблем нагальних,
- Що потребують зусиль концентрації,
- Битва з корозією стала загальною –
- Від ЮНЕСКО до райадміністрації.

Фахівці сучасні для цього потрібні,  
Що сміливо вживуть рішучих кроків,  
Знайдуть матеріали й підходи новітні,  
Забезпечать захисту рівень високий.





# **Висновки**

**Військовий стан, наука, вища освіта?  
Для багатьох – це несумісні субстанції!  
Але, якщо ти в Харкові працював все літо,  
То знаєш, як розв'язати таку ситуацію!**

**Навчайся, працюй, борони Україну!  
Саме такі складові у нашої перемоги!  
Захистим і відбудуєм і місто, й країну!  
Нас не звернути з цієї дороги!**

**Так, microCAD 2022 - це мить єднання!  
Бо тільки разом ми переможемо!  
Нашою зброєю будуть знання!  
Тому відродити Україну зможемо!**