



ЗАТВЕРДЖУЮ

Проректор з наукової роботи

Національного університету

"Львівська політехніка"

д.т.н., проф.

Іван ДЕМИДОВ

2024 р.

## Висновок

**про наукову новизну, теоретичне та практичне значення результатів дисертації  
«Технологічні засади електрохімічного синтезу стабілізованих наночастинок срібла»  
здобувача наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю  
161 – *Хімічні технологія та інженерія* (галузь знань 16 – *Хімічна інженерія та  
біоінженерія*)**

**Мазура Артура Сергійовича**

**наукового семінару кафедри хімії і технології неорганічних речовин Інституту хімії та  
хімічних технологій**

### 1. Актуальність теми дисертації

На поточному етапі розвитку нанотехнологій наночастинки металів знаходять все більше застосувань у різноманітних галузях науки та промисловості. Колоїдні розчини наночастинок срібла є одним із найбільш затребуваних наноматеріалів. Останнім часом акцент робиться на "зеленому" синтезі наночастинок, який вимагає мінімізації використання токсичних речовин на користь натуральних альтернатив, таких як рослинні екстракти та мікроорганізми. Важливою умовою сучасних технологій є контроль над формою та розмірами наночастинок для досягнення бажаних функціональних властивостей.

Серед різноманітних методів синтезу особливо багатообіцяючим є електроліз за використання розчинних анодів, який забезпечує стабільність основного параметра синтезу – концентрацію йонів Аргентуму, та вважається "зеленим" методом у виробництві. Поряд з цим, сучасні дослідження розширюють можливості електрохімічних процесів через використання імпульсного струму, ультразвуку та мікроплазми, створюючи гібридні технології для інтенсифікації процесу та забезпечення широких можливостей контрольованого синтезу AgNPs.

Однак, широке впровадження цих методів обмежене через нестачу даних щодо параметрів процесу. Так, дослідження анодної поведінки срібла, ключових параметрів синтезу, кінетики утворення наночастинок та їхніх антибактеріальних властивостей є важливими у теоретичному та прикладному аспекті. Тому встановлення ключових закономірностей електрохімічного,



соноелектрохімічного та мікроплазмового синтезу наночастинок срібла, стабілізованих поверхнево-активними речовинами, з наперед заданим та прогнозованим рівнем функціональних властивостей, зокрема антимікробною, фунгіцидною та біосумісною, є актуальною науково-практичною проблемою.

## **2. Зв'язок теми дисертації з державними програмами, науковими напрямами університету та кафедри**

Тематика дисертаційного дослідження відповідає науковому напрямку кафедри хімії і технології неорганічних речовин Національного університету "Львівська політехніка": "Електрохімія функціональних металевих і напівпровідникових наноматеріалів та нанокомпозитів".

Дисертація виконувалась в межах науково-дослідної роботи МОН України "Керований електрохімічний синтез металевих наночастинок і наноструктурованих матеріалів" (номер держреєстрації 0118U000268) та проєкту НФДУ "Дизайн поліфункціональних наноструктурованих моно- та біметалів з електрокаталітичними й антимікробними властивостями" (номер держреєстрації 0121U111303). Автор дисертаційної роботи є одним з виконавців цих проєктів.

## **3. Особистий внесок здобувача в отриманні наукових результатів**

Особистий внесок здобувача полягає в аналізі різноманітних джерел інформації, на підставі чого сформульовано мету та завдання дисертаційного дослідження. Здобувачем особисто проведено експериментальні дослідження, проаналізовано та інтерпретовано отримані результати, сформульовано основні положення та висновки дисертаційної роботи. Внесок автора у вирішенні завдань, що виносяться на захист, є ключовим.

## **4. Достовірність та обґрунтованість отриманих результатів та запропонованих автором рішень, висновків, рекомендацій**

Наукові положення, висновки та рекомендації, які сформульовані в дисертаційній роботі, є теоретично обґрунтовані, а їх достовірність підтверджена результатами експериментальних досліджень та численних апробацій. Отримані автором результати корелюються із результатами та поглядами провідних вчених в області хімії наноматеріалів. Ступінь обґрунтованості, достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій, розроблених автором, не викликає сумнівів, так як базуються на значному обсязі теоретичних та експериментальних досліджень, є логічними та науково обґрунтованими. Достовірність результатів підтверджується застосуванням сучасних методів, приладів, вимірювальної та комп'ютерної техніки, а також відтворюваністю експериментальних результатів.

## **5. Ступінь новизни основних результатів дисертації порівняно з відомими дослідженнями аналогічного характеру**

У проведених дослідженнях вперше реалізовано комплекс методів електрохімічного синтезу наночастинок срібла за нестационарного підведення струму та застосування розчинних анодів, у результаті чого:

1. Встановлено основні закономірності електрохімічного синтезу наночастинок срібла з використанням ПАР природного та синтетичного походження, що відповідають принципам “зелених” технологій.

2. Виявлено ключові закономірності анодного розчинення срібла у водних розчинах ПАР-стабілізаторів залежно від: концентрації, температури, рН середовища та швидкості розгортки анодного потенціалу.

3. Встановлено основні фізико-хімічні закономірності електрохімічного, соноелектрохімічного та мікроплазмового синтезу розчинів наночастинок срібла за використання розчинних анодів.

4. Виявлено закономірності впливу параметрів та умов електрохімічного синтезу на процес формування та фізико-хімічні характеристики наночастинок срібла.

5. Встановлено кінетичні закономірності електрохімічного, соноелектрохімічного та мікроплазмового синтезу наночастинок срібла у водних розчинах запропонованих ПАР-стабілізаторів.

6. Показано, що наночастинок срібла, синтезовані електрохімічним, соноелектрохімічним та мікроплазмовим методом, проявляють виражену антимікробну та фунгіцидну дію, а також є низькотоксичними.

## **6. Перелік наукових праць, які відображають основні результати дисертації**

Основні положення дисертації відображені у 21 друкованій праці, з них 3 статті у наукових фахових виданнях України, 6 статей у наукових періодичних виданнях іноземних держав та у виданнях України, що індексовані в міжнародних наукометричних базах даних, 2 патенти на корисну модель, 10 тез доповідей на міжнародних і вітчизняних конференціях.

Статті у наукових періодичних виданнях іноземних держав та у виданнях України, що індексовані в міжнародних наукометричних базах даних (Scopus, Web of Science):

1. Kuntuyi, O. I., Kytsya, A. R., Bondarenko, A. B., **Mazur, A. S.**, Mertsalo, I. P., & Bazylyak, L. I. (2021). Microplasma synthesis of silver nanoparticles in PVP solutions using sacrificial silver anodes. *Colloid and Polymer Science*, 299(5), 855–863. <https://doi.org/10.1007/s00396-021-04811-y>. (Scopus, Web of Science). *Особистий внесок: проведення експериментальних досліджень*

з мікроплазмового синтезу наночастинок срібла в розчині полівінлпіролідону, обробка даних, підготовка графічних матеріалів до публікації.

2. Shepida, M., Kuntiyi, O., Sukhatskiy, Y., **Mazur, A.**, & Sozanskyi, M. (2021). Microplasma Synthesis of Antibacterial Active Silver Nanoparticles in Sodium Polyacrylate Solutions. *Bioinorganic Chemistry and Applications*, 2021, 1–11. <https://doi.org/10.1155/2021/4465363>. (Scopus, Web of Science). *Особистий внесок: обробка даних та підготовка графічних матеріалів до публікації.*

3. Kuntiyi O., Shepida M., Sozanskyi M., Sukhatskiy Y., **Mazur A.**, Kytsya A., & Bazylyak L. (2021). Sonoelectrochemical Synthesis of Silver Nanoparticles in Sodium Polyacrylate Solution. *Biointerface Research in Applied Chemistry*, 11(4), 12202–12214. <https://doi.org/10.33263/BRIAC114.1220212214>. (Scopus, Web of Science). *Особистий внесок: проведення експериментальних досліджень з соноелектрохімічного синтезу наночастинок срібла в розчині натрію поліакрилату, підготовка графічних матеріалів для публікації.*

4. Kuntiyi, O., **Mazur, A.**, Kytsya, A., Karpenko, O., Bazylyak, L., Mertsalo, I., Pokynbroda, T., & Prokopalo, A. (2020). Electrochemical synthesis of silver nanoparticles in solutions of rhamnolipid. *Micro & Nano Letters*, 15(12), 802–807. <https://doi.org/10.1049/mnl.2020.0195>. (Scopus, Web of Science). *Особистий внесок: виконання експериментальних досліджень з електрохімічного синтезу наночастинок срібла, обробка та аналіз отриманих даних, підготовка матеріалів для публікації.*

5. Mertsalo, I. P., **Mazur, A. S.**, Kuntiyi, O. I., & Zozulya, H. I. (2020). Electrochemical Preparation of Silver Polyacrylate Solutions Intended for the Synthesis of Silver Nanoparticles. *Materials Science*, 55(5), 716–723. <https://doi.org/10.1007/s11003-020-00363-8>. (Scopus, Web of Science). *Особистий внесок: проведення експериментальних досліджень анодної поведінки срібла у розчині натрію поліакрилату, підготовка графічних матеріалів для публікації.*

6. Kuntiyi, O. I., Kytsya, A. R., Mertsalo, I. P., **Mazur, A. S.**, Zozula, G. I., Bazylyak, L. I., & Topchak, R. V. (2019). Electrochemical synthesis of silver nanoparticles by reversible current in solutions of sodium polyacrylate. *Colloid and Polymer Science*, 297(5), 689–695. <https://doi.org/10.1007/s00396-019-04488-4>. (Scopus, Web of Science). *Особистий внесок: проведення експериментальних досліджень електрохімічного синтезу наночастинок срібла та вивчення анодної поведінки срібла у розчині натрію поліакрилату, підготовка графічних матеріалів для публікації.*

Статті у наукових фахових виданнях України:

1. Shepida, M. V., Sozanskyi, M. A., Sukhatskiy, Yu. V., **Mazur, A. S.**, & Kuntiyi, O. I. (2021). Sonoelectrochemical synthesis of silver nanoparticles in polyvinylpyrrolidone solutions.

Chemistry, Technology and Application of Substances, 4(1), 82–87. <https://doi.org/10.23939/ctas2021.01.082>. *Особистий внесок: виконання експериментальних досліджень з соноелектрохімічного синтезу наночастинок срібла та вивчення анодної поведінки срібла у розчині полівілпіролідону, аналіз отриманих даних та підготовка графічних матеріалів для публікації.*

2. Bazylyak, L., Kytsya, A., Karpenko, O., Prokopalo, A., Pokynbroda, T., **Mazur, A.**, & Kuntiyi, O. (2020). Synthesis of silver nanoparticles using the rhamnolipid biocomplex of microbial origin. *Visnyk of the Lviv University. Series Chemistry*, 61(2), 404. <https://doi.org/10.30970/vch.6102.404>. *Особистий внесок: проведення експериментальних досліджень.*

3. Mertsalo, I. P., Bondarenko, A. B., **Mazur, A. S.**, & Kuntiyi, O. I. (2019). Anode behavior of silver in the solution of rhamnolipid. *Chemistry, Technology and Application of Substances*, 2(2), 7–11. <https://doi.org/10.23939/ctas2019.02.007>. *Особистий внесок: дослідження анодної поведінки срібла в розчині рамноліпиду, обробка даних, підготовка графічних матеріалів для публікації.*

#### Патенти на корисну модель:

1. Пат. № 147096. Україна. Спосіб одержання наночастинок срібла. Сухацький Ю. В., Шепіда М. В., Созанський М. А., **Мазур А. С.**, Кунтий О. І., Карпенко О. В., Покинсьброда Т. Я., Прокопало А. М., заявн. Національний університет “Львівська політехніка”. – u202007960; заявн. 14.12.2020; опубл. 07.04.2021. *Особистий внесок: синтез наночастинок срібла, обговорення результатів, участь у написанні патенту.*

2. Пат. № 142652. Україна. Спосіб одержання колоїдних розчинів стабілізованих наночастинок срібла. Кунтий О. І., Бондаренко А. Б., **Мазур А. С.**, Зозуля Г. І., Мерцало І. П., Киця А. Р., Карпенко О. В., Базиляк Л. І., заявн. Національний університет “Львівська політехніка”. – u201910790; заявн. 31.10.2019; опубл. 25.06.2020. *Особистий внесок: синтез наночастинок срібла, обговорення результатів, участь у написанні патенту.*

#### Тези доповідей та матеріали конференцій:

1. **Artur Mazur**, Mariana Shepida, Galyna Zozulya, Orest Kuntiyi. (2023). Synthesis of Gold Nanoparticles by Sonogalvanic Replacement in Sodium Polyacrylate Solutions. IEEE 13 International Conference “Nanomaterials: Applications & Properties” (IEEE NAP-2023), Bratislava, Slovakia, 10–15 September, 2023, p. 01nss-15. *Особистий внесок: проведення експериментальних досліджень, обговорення результатів, підготовка постера, участь у конференції.*

2. Zozulya G.I., Kuntiyi O.I., Shepida M.V., **Mazur A.S.** (2022) Obtaining of CO<sub>2</sub> conversion catalytic activity electrodes Cu/AuNPs by galvanic replacement. Abstracts of the

International Conference: “Nanotechnology and Nanomaterials NANO–2022”, Lviv, Ukraine, 25–27 August, 2022, p. 385. *Особистий внесок: проведення експериментальних досліджень та обговорення результатів.*

3. **Мазур, А.** (2021). Одержання нанорозмірних частинок срібла у водному розчині рамноліпиду електрохімічним методом. XVIII Наукова Конференція «Львівські Хімічні Читання – 2021», УЗ4. *Особистий внесок: проведення експериментальних досліджень, обговорення результатів, написання тез доповіді, участь у конференції.*

4. Бондаренко, О., **Мазур, А.**, Леськів, Ю., Киця, А., Кунтий, О. (2019) Синтез наночастинок срібла методом катодного контактного тліючого розряду в розчинах полівінілпіролідону. Зб. тез доповідей XVII наукової конференції “Львівські хімічні читання”, Львів, Україна, 2-5 червня, 2019, с. У19. *Особистий внесок: проведення експериментальних досліджень, обговорення результатів, підготовка друкованих матеріалів, участь у конференції.*

5. Kuntiyi, O. I., Kytsya, A. R., Bazylyak, L. I., Bondarenko, A., **Mazur, A. S.**, Koretska, N. I., Zayarnyuk, A. M. (2019) Synthesis of silver nanoparticles by contact glow discharge electrolysis in sodium polyacrylate (NaPA) solutions. Abstracts of the International Conference: “Nanotechnology and Nanomaterials NANO–2019”, Lviv, Ukraine, 27–30 August, 2019, p. 51. *Особистий внесок: проведення експериментальних досліджень, обговорення результатів, підготовка друкованих матеріалів, участь у конференції.*

6. **Artur Mazur**, Alona Bondarenko, Mariia Mandych, Bohdan Taranenko, & Marko Pankiv. (2018). Electrochemical synthesis of silver nanoparticles solution stabilized by polyacrylate and rhamnolipid. Conference of Young Scientists at EastWest Chemistry Conference, 40–41. *Особистий внесок: проведення експериментальних досліджень, обговорення результатів, написання тез доповіді, участь у конференції.*

7. Kuntiyi, O. I., Kytsya, A. R., Karpenko, O. V., Zozula, G. I., **Mazur, A. S.** (2018) Electrochemical synthesis of silver nanoparticles using surfactants of glycolipid nature. Abstracts of the International Conference: “Nanotechnology and Nanomaterials NANO–2018”, 2018, Kyiv, Ukraine, 27–30 August, p. 89. *Особистий внесок: проведення експериментальних досліджень, обговорення результатів, підготовка друкованих матеріалів, участь у конференції.*

8. **Мазур, А.**, Зозуля, Г., Киця, А., Мандич, М., Леськів, Ю., Бондаренко, О. (2018) Електрохімічне одержання колоїдних розчинів наночастинок срібла стабілізованих поліакрилатом. Зб. праць VIII Українського з'їзду з електрохімії, Львів, Україна, 04–07 червня, 2018, с. с. 106 – 108. *Особистий внесок: проведення експериментальних досліджень, обговорення результатів, участь у конференції.*

9. Кунтий, О., Киця, А., Карпенко, О., **Мазур, А.** (2018) Електрохімічний синтез “розчинів” наночастинок срібла, стабілізованих синтетичними та природними ПАР. Зб. праць

VIII Українського з'їзду з електрохімії, Львів, Україна, 04–07 червня, 2018, с. с. 402 – 404. *Особистий внесок: проведення експериментальних досліджень, обговорення результатів, участь у конференції.*

10. **Мазур А. С.**, Мандич М. В, Леськів Ю. Ю. (2018). Електрохімічне одержання розчинів наночастинок срібла стабілізованих поліакрилатом. VII Міжнародна конференція студентів, аспірантів та молодих вчених з хімії та хімічної технології, 89. *Особистий внесок: проведення експериментальних досліджень, обговорення результатів, участь у конференції.*

## **7. Апробація основних результатів дослідження на конференціях, симпозіумах, семінарах тощо**

Матеріали дисертаційної роботи були апробовані на вітчизняних та закордонних наукових та науково-технічних конференціях, зокрема: VII Міжнародна конференція студентів, аспірантів та молодих вчених з хімії та хімічної технології (2018 р., м. Київ, Україна); Conference of Young Scientists at EastWest Chemistry Conference (2018 р., м. Львів, Україна); VIII Український з'їзд з електрохімії (2018 р., м. Львів, Україна); XVII наукова конференція “Львівські хімічні читання” (2019 р., м. Львів, Україна); International Conference “Nanotechnology & Nanomaterials” (NANO–2018) (2018 р., м. Київ, Україна); International Conference “Nanotechnology & Nanomaterials” (NANO–2019) (2019 р., м. Львів, Україна); XVIII Наукова конференція «Львівські хімічні читання» (2021 р., м. Львів, Україна); International Conference “Nanotechnology & Nanomaterials” (NANO–2022) (2022 р., м. Львів, Україна); IEEE 13th International Conference Nanomaterials: Applications and Properties (NAP 2023) (2023 р., м. Братислава, Словаччина).

## **8. Наукове значення виконаного дослідження із зазначенням можливих наукових галузей та розділів програм навчальних курсів, де можуть бути застосовані отримані результати**

У роботі встановлено ключові закономірності електрохімічного, соноелектрохімічного та мікроплазмового методів синтезу стабілізованих наночастинок срібла у розчинах ПАР-стабілізаторів за нестационарного підведення струму та використання розчинних анодів. Отримані результати вносять вагомий внесок у розуміння анодної поведінки срібла в розчинах ПАР, фізико-хімічних аспектів методів синтезу наночастинок срібла, а також кінетики їх формування. Результати дисертаційної роботи впроваджені в навчальний процес студентів освітньо-кваліфікаційного рівня «Магістр» з дисциплін “Хімія та технології наноматеріалів” та “Електрохімія наноматеріалів” кафедри хімії та технології неорганічних речовин Національного університету “Львівська політехніка”.

## **9. Практична цінність результатів дослідження із зазначенням конкретного підприємства або галузі народного господарства, де вони можуть бути застосовані**

В роботі розроблено методику одержання наночастинок срібла, які можна використати для виготовлення антибактеріальних та фунгіцидних препаратів. Встановлено ефективність використання низки ПАР, таких як натрію поліакрилат, рамноліпід, рамноліпідний біокомплекс та полівінілпіролідон, які забезпечують ефективну стабілізацію наночастинок срібла під час електрохімічного синтезу, їх тривале зберігання, що сприяє розвитку екологічних технологій. Встановлено низьку фітотоксичність синтезованих розчинів. Запропоновано принципову технологічну схему одержання розчинів наночастинок срібла з використанням розчинних анодів та неперервним потоком електроліту, що забезпечує простоту та контрольованість процесу синтезу наночастинок. Таким чином, можна стверджувати, що в роботі закладено передумови до створення антибактеріальних препаратів на основі наночастинок срібла. На сьогодні, вирішення такого завдання має вагомое практичне значення з огляду на зростаючу проблему виникнення резистивних до промислових антибіотиків та їх форм штамів мікроорганізмів.

Про практичну цінність результатів роботи також свідчать отримані патенти на корисні моделі № 142652 та № 147096.

## **10. Оцінка структури дисертації, її мови та стилю викладення**

Дисертаційна робота складається з анотації, вступу, 5 розділів, висновків, списку використаної літератури (164 найменувань) та 2 додатків. Загальний обсяг дисертації становить 178 сторінок, містить 19 таблиць та 83 рисунки.

Також встановлено, що дана дисертація за структурою, мовою та стилем викладення відповідає необхідним вимогам МОН України.

У ході обговорення дисертації до неї не було висунуто жодних зауважень щодо самої суті роботи.

**11. З урахуванням зазначеного, на фаховому семінарі кафедри хімії і технології неорганічних речовин, ухвалили:**

**11.1.** Дисертація Мазура Артура Сергійовича «Технологічні засади електрохімічного синтезу стабілізованих наночастинок срібла» є завершеною науковою працею, у якій розв'язано конкретне наукове завдання: розробка технологічних засад електрохімічного синтезу стабілізованих наночастинок срібла, що має важливе значення для галузі знань 16 – *Хімічна інженерія та біоінженерія*.

**11.2.** Основні наукові положення, методичні розробки, висновки та практичні рекомендації, викладені у дисертаційній роботі, логічні, послідовні, аргументовані, достовірні, достатньо обґрунтовані. Дисертація характеризується єдністю змісту.



**11.3.** У 21 науковій публікації повністю відображені основні результати дисертації, з них 3 статті у наукових фахових виданнях України та 6 статей у наукових періодичних виданнях інших держав; 0 статей у виданнях України, які входять до міжнародних наукометричних баз.

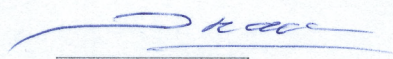
**11.4.** Дисертація відповідає вимогам наказу МОН України № 40 від 12.01.2017 р. «Про затвердження вимог до оформлення дисертації», Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії (Постанова Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. № 44, зі змінами).

**11.5.** Дисертація є результатом самостійних досліджень, не містить елементів фальсифікації, компіляції, плагіату та запозичень, що констатує відсутність порушення академічної доброчесності. Використання текстів інших авторів мають належні посилання на відповідні джерела.

**11.6.** З урахуванням наукової зрілості та професійних якостей Мазура А.С. дисертація «Технологічні засади електрохімічного синтезу стабілізованих наночастинок срібла» рекомендується для подання до розгляду та захисту у спеціалізованій вченій раді. За затвердження висновку проголосували:

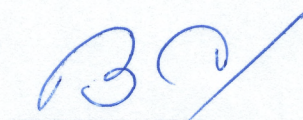
За	-	Сімнадцять
Проти	-	Немає
Утримались	-	Немає

Головуючий на науковому семінарі  
кафедри хімії і технології неорганічних  
речовин,  
зав. кафедри ХТНР,  
д.т.н., проф.

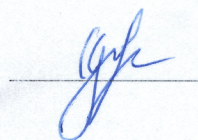


Зеновій ЗНАК

Рецензенти:  
д.т.н., проф., професор кафедри хімічної  
технології переробки пластмас  
к.т.н., доц., доцент кафедри фізичної,  
аналітичної та загальної хімії

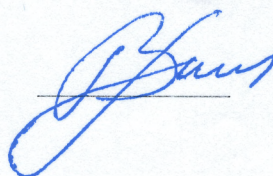


Володимир SKOROKHODA



Ірина KOVALЬ

Відповідальний у ІХХТ за атестацію  
PhD  
д.т.н., професор, зав. каф. ХІ



Володимир ATAMANIUK

“15” травня 2024 р.