

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «КИЇВСЬКИЙ АВІАЦІЙНИЙ ІНСТИТУТ»



# МАТЕРІАЛИ

XVII Міжнародної  
науково-технічної конференції  
“АВІА-2025”

22-24 квітня 2025 року

Київ 2025

Матеріали XVII міжнародної науково-технічної конференції  
«АВІА-2025». –К.: НАУ, 2025.

*За науковий зміст викладеного матеріалу відповідають автори.*

## Секції

1. Аеродинаміка, конструкція, міцність та зносостійкість авіаційної техніки
2. Безпека авіації у сучасних умовах
3. Автоматизація та енергозбереження на транспорті
4. Сучасні технології підтримання льотної придатності повітряних суден
5. Рідинно-газові системи літальних апаратів
6. Авіаційні двигуни та енергетичні установки
7. Електротехнічні та світлотехнічні системи і комплекси
8. Аеронавігація і Безпілотні Авіаційні Системи
9. Сучасний стан та перспективи розвитку авіоніки та систем керування рухомими об'єктами
10. Автоматизовані системи управління технологічними процесами та рухомими об'єктами
11. Електронні технології в системах штучного інтелекту та робототехніки
12. Електронні комунікації та радіотехніка
13. Інтелектуальні кібернетичні системи
14. Кібербезпека та захист інформації в авіації
15. Комп'ютерна інженерія
16. Комп'ютерні науки в проектуванні та управлінні
17. Інженерія програмного забезпечення
18. Моделювання, чисельні методи та інформаційні технології в прикладній математиці
19. Перспективи авіаційних досліджень у Європі
20. Сучасна цивільна інженерія
21. Мультимедійні технології та системи
22. Дизайн архітектурного середовища
23. Транспортне будівництво
24. Технічна естетика і дизайн
25. Аерокосмічна геодезія та землеустрій
26. Інноваційні технології маркетингу та менеджменту в глобальному просторі
27. Економіка та публічне управління в авіації
28. Сучасне управління та адміністрування: цифрові трансформації та моделі інноваційного розвитку
29. Транспортні технології та логістика
30. Сучасні аеропортові технології та експлуатація авіаційної наземної техніки
31. Право та міжнародні відносини в умовах глобальних викликів сучасності
32. Мовна підготовка фахівців авіаційної галузі
33. Психологія безпечної експлуатації авіаційного транспорту
34. Сучасні трансформації соціальних комунікацій
35. Збройні Сили України в умовах сьогодення

*Н.В. Гаюк<sup>1</sup>, к.х.н., Г.В. Сокольський<sup>2</sup>, д.х.н., О.О. Борщ<sup>1</sup> д.с/г н.  
(Білоцерківський національний аграрний університет<sup>1</sup>, Україна)  
(Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського<sup>2</sup>, Україна)*

### **Дослідження взаємодії титан(IV) оксиду з HF у присутності/відсутності NH<sub>4</sub><sup>+</sup>**

*Дослідження щодо встановлення умов електрокристалізації мangan(IV) оксидів з суспензійних електролітів за допомогою підходів електролітичного добування для одержання багатокомпонентних композитних матеріалів MnO<sub>2</sub>/TiO<sub>2</sub>/ГНТ/ІНТ. Основною задачею у плануванні експерименту є стратегія щодо концентрації, природи добавок в електроліт, його лігандного складу для забезпечення заваного фазового складу мangan(IV) оксиду, а також функціональності інших компонентів. Важливим завданням у даному дослідженні є забезпечити максимальний рівномірний розподіл всіх компонентів з максимальним ступенем гомогенізації, дисперсності компонентів та контрольованою агломерацією.*

Для фото(електро)каталітичних застосувань, де задіяна поверхня, має бути забезпечена її максимальна розвиненість та присутність нанотрубок, що, за літературними даними [1], сприяє охопленню в транспорті маси (заряду) при поверхневих шарів. Алюмосилікатні нанотрубки в цьому сенсі відносно мало досліджені. Фотокаталітичні “coupling” ефекти можливі в даних умовах при поєднанні діоксиду титану з діоксидом мангану за умови значно меншої ширини забороненої зони.

Стабільне співвідношення вмісту іонів у анодному продукті виконується при незмінності співвідношення концентрацій відповідних іонів в електроліті. Зміни лігандного складу електроліту є додатковим інструментом впливу на співвідношення катіонів у анодному продукті, що дозволяє зблизити/розвести потенціали виділення відповідних оксидних фаз в умовах, коли співкристалізація компонентів є можливою [2].

Завдання електрокристалізації композитів складу TiO<sub>2</sub>/MnO<sub>2</sub>/ГНТ/ІНТ нами вирішувалося 2 шляхами: по-перше, введенням TiO<sub>2</sub> у вигляді компоненту суспензійного електроліту, по-друге, за допомогою Ti<sup>3+</sup> катіону, здатного до окиснення на аноді. Максимально рівномірний розподіл ГНТ/ІНТ у продукті має забезпечити їх введення до складу електроліту із додатковою стадією вакуумування для галузитних нанотрубок.

Суспензія анатазу та/або рутилу в умовах експерименту з електрокристалізації у флуорвмісному електроліті проявляє здатність до розчинення. Отже, становило інтерес вивчити та використати особливості даного процесу. Для цього використовували спектрофотометричні методи. Титан(IV) утворює в кислотному середовищі з додаванням гідроген пероксид комплексну сполуку:

$TiO^{2+} + H_2O_2 = [TiO(H_2O_2)_2]^{2+}$ , забарвлену у жовтий колір. Дана реакція використовується в кількісному фотометричному аналізі розчинів, що містять титан. Оптичну густину розчину титанового комплексу вимірюють при  $\lambda=400$  –

500 нм [3] на фотоколориметрі КФК-2. Подібні комплекси також утворюються при розчиненні титанової кислоти  $\text{H}_2\text{TiO}_3$  у розчинах, що містять  $\text{H}_2\text{O}_2$ . При  $\text{pH} > 10$  у розчинах, що містять пероксид водню й іони титану, присутні інші комплекси —  $[\text{Ti}(\text{O}_2)_2(\text{OH})_2]^{2-}$  або  $[\text{TiO}(\text{O}_2)(\text{OH})_2]^{2-}$ . Вони схильні до полімеризації й утворенню гелів або осадів [4]. Слід зазначити, що експеримент з електроосадження та вивчення комплексоутворення розчинених катіонів титану з  $\text{HF}$  проводили в умовах низьких  $\text{pH} < 3$  — 4.

Використано метод зсуву рівноваги для встановлення умов розчинення діоксиду титану залежно від концентрації ліганду — флуоридної кислоти у присутності або відсутності катіонів амонію. Дані результати є важливими для залучення підходів електролітичного допування з метою цілеспрямованого впливу розчиненої форми діоксиду титану на процес електрокристалізації мангану діоксиду. Використовували рутильну поліморфну модифікацію титану діоксиду як найбільш термодинамічну форму в умовах експерименту. Одержані серії суспензійних розчинів із різною концентрацією  $\text{HF}$  та постійним вмістом суспендованого діоксиду титану. Важливим компонентом електроліту електросинтезу манган(IV) оксиду є катіони амонію. Можлива роль катіонів амонію як зовнішньо сферних катіонів, або лігандів впливає з літературних даних. Тому експеримент із розчинення діоксиду титану планували у відсутності / присутності катіонів амонію.

Таблиця 1.

Співвідношення компонентів  $\text{HF}/\text{TiO}_2$  серії розчинів із різною концентрацією  $\text{HF}$  та суспендованим діоксидом титану у присутності/відсутності катіонів амонію.

№	$\text{TiO}_2$ (рутил), г/л	$\text{TiO}_2$ (рутил), моль/л	2,0 М $\text{HF}$ , мл	$\text{HF}$ , моль/л	$\text{HF}:\text{TiO}_2$	$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ , моль/л
1	16,0	0,2	5,0	0,1	0,5 : 1,0	1,5
2	16,0	0,2	10,0	0,2	1,0 : 1,0	1,5
3	16,0	0,2	15,0	0,3	1,5 : 1,0	1,5
4	16,0	0,2	20,0	0,4	2,0 : 1,0	1,5
5	16,0	0,2	25,0	0,5	2,5 : 1,0	1,5
6	16,0	0,2	30,0	0,6	3,0 : 1,0	1,5
7	16,0	0,2	35,0	0,7	3,5 : 1,0	1,5
8	16,0	0,2	40,0	0,8	4,0 : 1,0	1,5
9	16,0	0,2	45,0	0,9	4,5 : 1,0	1,5

Розчини набували жовтого забарвлення при додаванні однакової кількості гідроген пероксиду, їх оптична густина вимірювалася на фотоколориметрі. Для експерименту використовували 2,0 М  $\text{HF}$ , яку готували з концентрованої  $\text{HF}$  (40%). Концентрація розчину  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  становила 1,5 моль/л та була постійною в експерименті. Маса  $\text{TiO}_2$  рутильної модифікації у вигляді суспензії становила в перерахунку на моль/л — 0,2;  $\text{H}_2\text{O}_2$  додавали 1мл (0,02 моль/л) за методикою [5]. Змінною була тільки концентрація  $\text{HF}$ (Таблиця 1.)

Розчини готували в колбі на 100 мл, після досягнення рівноваги розчин слабо жовтого кольору відділяли від осаду і вносили в кювету та визначали

оптичну густина при  $\lambda = 315 - 540$  нм. У кислотних розчинах пероксидні комплекси титану мають смуги поглинання між 350- 450 нм за даними [6].

Крім того досліджували масу одержаних осадів  $TiO_2$  (Таблиця 1). Діоксид титану, який не розчинився в ході реакції, висушували до сталої маси при  $100^\circ C$  та зважували. Розчинення  $TiO_2$  при сталій концентрації флуоридної кислоти практично не змінювалося в присутності катіонів амонію: при максимальному співвідношенні  $HF / TiO_2$  в зразках №4, 5 розчинилося 6,25% мас., а при введенні  $(NH_4)_2SO_4$  розчинення становило 6,48% мас.

Залежність концентрації розчиненого діоксиду титану від молярного співвідношення  $HF/TiO_2$  у серії розчинів із різною концентрацією  $HF$  та суспендованим титану діоксидом при відсутності/присутності катіонів амонію показано на Рисунок 1, 2. Відсутності катіонів амонію спостерігаємо (Рисунок 1. ) чітко виражену полочку після досягнення співвідношення флуоридного комплексу розчинної форми  $Ti^{4+}$  від концентрації ліганду — флуорид-іону  $F/TiO_2$  1:1, тому його слід віднести до стабільних комплексів [7]. Присутність катіонів амонію, при досягненні співвідношення  $F : TiO_2 = 4 : 1$  домінуючим станом катіону титану(IV) в розчині буде монофлуоридний. Отже присутність амонію не стабілізує комплексну сполуку зі зростанням концентрації флуорид-іону розчинність падає, що зумовлено утворенням більш стабільного безамонійного комплексу.

Розглянемо поведінку фторидних комплексів за зміною забарвлення пероксидних комплексів титану (IV). Співвідношення титану до пероксиду водню в даних умовах становить 1:1. Константа нестійкості пероксидного комплексу ( $K = [TiO^{2+}][H_2O_2]/[Ti(O_2)^{2+}]$ ) дорівнює  $10^{-5} - 10^{-4}$  [6]. Константа дисоціації забарвленого комплексу [6] становить  $K = 9,0 \cdot 10^{-5}$ .

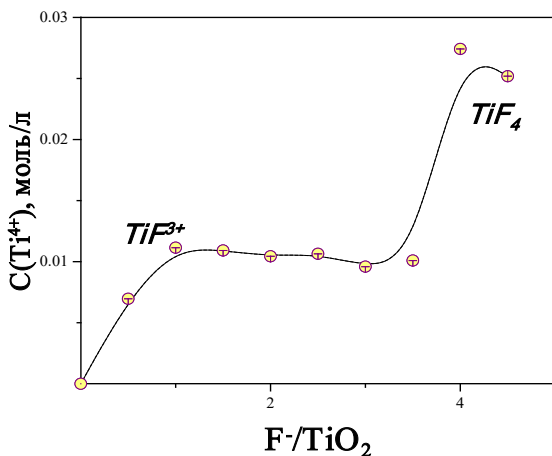


Рис. 1. Залежність концентрації розчиненого титану діоксиду від молярного співвідношення  $HF/TiO_2$  в серії розчинів із різною концентрацією  $HF$  та

суспендованим титан діоксидом у відсутності катіонів амонію.

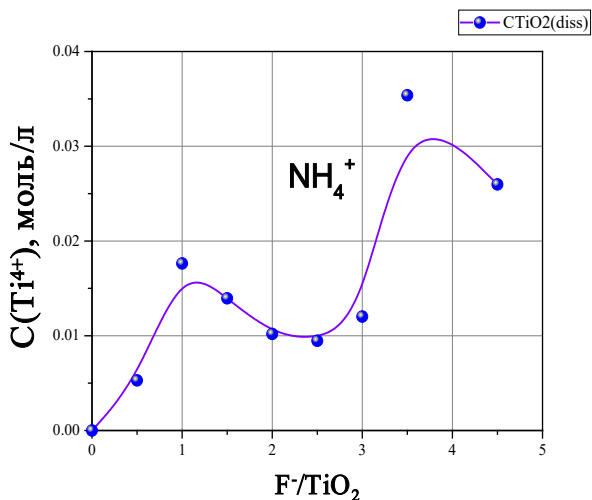
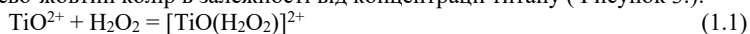


Рис. 2. Залежність концентрації розчиненого титану діоксиду від молярного співвідношення HF/TiO<sub>2</sub> в серії розчинів із різною концентрацією HF та суспендованим діоксидом титану з присутністю катіонів амонію.

При дії гідроген пероксиду на кислотні розчини, що містять титан(IV), утворюються розчинні комплексні сполуки, забарвлені у жовтий або оранжево-жовтий колір в залежності від концентрації титану ( Рисунок 3.):



Експериментально визначений інтервал значень оптичної густини знаходився в межах максимальної відтворюваності результатів вимірювань, тобто  $D = 0,14 \text{ — } 1,9$  [8] (Рисунок 3) для діапазону довжини хвиль 400 -500 нм.



Рис. 3.Зміна забарвлення інтенсивності гідроген пероксидного комплексу

## Висновок

Зміна забарвлення пероксидних комплексів титану із зростанням відношення F/TiO<sub>2</sub> є результатом утворення більш міцних і стійких флуоридних комплексів титану. У діапазоні, що відповідає області існування монофлуоридного комплексу, відбувається лінійне зменшення концентрації гідрогенпероксидного комплексу в безамонійному та амонійному розчинах зі збільшенням співвідношення HF/TiO<sub>2</sub> (Рисунок 1, 2).

На наш погляд, причина кореляції розчинності титан діоксиду із вмістом флуорид-іону пов'язано із термодинамічними чинниками стабілізації різних комплексних іонів у розчині та принципово не відрізняється від досліджень поведінки сполук металів та лігандів у розчинах. В умовах гетерогенного процесу контрольованого поверхнею, збільшення концентрації флуорид-іону буде збільшувати поверхню контакту цих іонів з поверхнею.

## Список літератури

1. Meo P. Cyclodextrin–calixarene co-polymers as a new class of nanosponges/ P.Meо, G.Lazzara, L.Liotta, R.Noto //Polymer Chemistry. – 2014. –5(15). – P. 4499-4510.
2. Горощенко Я.Г. Хімія титану / Я.Г. Горощенко. – Київ: НауковаДумка, 1970. – 415 с
3. Гаюк Н.В. Вплив фазового складу титан (IV) оксиду та його властивостей на можливості практичного застосування/ А.В. Леонов, С.М.Баланчук, Н.В.Гаюк, Г.В.Сокольський// Стан і перспективи розвитку хімічної, харчової та парфумерно-косметичної галузей промисловості за тематичним напрямком «хімічні технології»: Всеукраїнські конференції (м. Херсон, 22-23 травня 2018р.). –Херсон, 2018. – 85С.
4. Донцова Т.А. Механізм фото каталізу на поверхні TiO<sub>2</sub> / Т.А. Донцова, І.В. Бредихін // Наукові вісті НТУУ «КПІ». –2013. – №3. – С.114-118.
5. Методи синтезу та електрокаталітичні властивості електродів на основі нанодисперсного TiO<sub>2</sub> / Воробець В. С., Алонцева В. В., Колбасов Г. Я. // Наукові записки НаУКМА. Т. 157: Хімічні науки і технології. – 2014. – С. 50-55.
6. Скопенко В.В. Експериментальні методи в координаційній хімії: Навч. посібник/В.В.Скопенко, В.Я.Зуб, І.О.Фрицький, Р.Д.Лампека.- К.: Видавничо-поліграф. центр "Київський університет", 2008.- 447с.
7. Tang, H. Electrical and optical properties of TiO<sub>2</sub> anatase thin films/ H. Tang, K. Prasad, R. Sanjines, P. E. Schmid, F. Levy // Journal of Applied Physics. – 1994. – V.75. – №.4. – P. 2042-2047.
8. Кичкирук, О. Ю. (2018). Аналітична хімія. Якісний та кількісний аналіз.