

XXIV Всеукраїнська конференція молодих вчених та студентів з актуальних питань сучасної хімії, Дніпро, 18-21 травня 2026 р.

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДНІПРОВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ОЛЕСЯ ГОНЧАРА**

**Інститут органічної хімії
НАН України**

XXIV ВСЕУКРАЇНСЬКА КОНФЕРЕНЦІЯ
молодих вчених та студентів
з актуальних питань сучасної хімії



МАТЕРІАЛИ КОНФЕРЕНЦІЇ

Дніпро
18-21 травня 2026 р.

XXIV Всеукраїнська конференція молодих вчених та студентів з актуальних питань сучасної хімії, Дніпро, 18-21 травня 2026 р.

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДНІПРОВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ОЛЕСЯ ГОНЧАРА**

**Інститут органічної хімії
НАН України**

**XXIV ВСЕУКРАЇНСЬКА КОНФЕРЕНЦІЯ
молодих вчених та студентів
з актуальних питань сучасної хімії**



Дніпро
18-21 травня 2026 р.

XXIV Всеукраїнська конференція молодих вчених та студентів з актуальних питань сучасної хімії, Дніпро, 18-21 травня 2026 р.

ПРОГРАМНИЙ ОРГАНІЗАЦІЙНИЙ КОМІТЕТ

Голова - **Коптева Світлана Дмитрівна**, декан хімічного факультета, канд. хім. наук, доцент

Відповідальний секретар – **Маторіна Катерина Вячеславівна**, доцент кафедри аналітичної хімії та хімічної технології, канд. хім. наук, доцент

Оковитий Сергій Іванович, ректор ДНУ, д-р хім. наук, професор, чл.-кор. НАНУ

Шермолович Юрій Григорович, заступник директора ІОХ НАН України, д-р хім. наук, професор

Варгалюк Віктор Федорович, д-р. хім. наук, професор, Заслужений діяч науки і техніки України

Вишнікін Андрій Борисович, д-р хім. наук, професор, академік АН вищої школи України

Стець Надія Вікторівна, зав. каф. фізичної, органічної та неорганічної хімії ДНУ, канд. хім. наук, доцент

Косіцина Олена Сергіївна, зав. каф. аналітичної хімії та хімічної технології ДНУ, канд. хім. наук, доцент

Фарісєєв Андрій Геннадійович, зав. каф. харчових технологій ДНУ, канд. техн. наук, доцент

Кондратюк Наталія Вячеславівна, заступник декана з наукової роботи, канд. техн. наук, доцент

Аніщенко Андрій Олександрович, доцент каф. фізичної, органічної та неорганічної хімії ДНУ, канд. хім. наук, доцент

Пальчиков Віталій Олександрович, директор НДІ хімії та геології ДНУ, д-р хім. наук, професор

Коваленко Сергій Іванович, головний науковий співробітник НДІ хімії та геології ДНУ, д-р фарм. наук, професор

АДРЕСА ОРГКОМІТЕТУ:

Хімічний факультет (16 корпус),

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара

вул. Ніла Армстронга, 22

Дніпро, 49000, Україна

XXIV Всеукраїнська конференція молодих вчених та студентів з актуальних питань сучасної хімії, Дніпро, 18-21 травня 2026 р.

УДК 54(063)

ББК 24я431

Т 67

ISBN

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара
Інститут органічної хімії НАН України

Голова оргкомітету

Коптева Світлана Дмитрівна, декан хімічного факультета, канд. хім. наук, доцент

Т67 «XXIV Всеукраїнська конференція молодих вчених та студентів з актуальних питань сучасної хімії» Дніпро, 2026. - 92 с.

ISBN

УДК 54(063)

ББК 24я431

Т 67

Секція
АНАЛІТИЧНА ХІМІЯ

**Керівник: проф., д-р хім. наук Вишнікін Андрій
Борисович**

**Секретар: доц., канд. хім. наук Маторіна
Катерина Вячеславівна**

**ПРОБОПІДГОТОВКА ЯК ОДИН З ВИРІШАЛЬНИХ ЕТАПІВ
ХІМІЧНОГО АНАЛІЗУ В ХОДІ КРИМІНАЛІСТИЧНОЇ
ЕКСПЕРТИЗИ**

Зафіров Ф.Г., Вишнікін А. Б.

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара

м. Дніпро, Україна

У сучасній криміналістиці хімічний аналіз відіграє одну з ключових ролей при встановленні об'єктивної істини. Від правильності отриманих результатів залежить обґрунтованість експертних висновків та їх використання у судовій практиці [3, 4]. У багатьох випадках саме результати аналітичних досліджень стають основою для прийняття рішень, що підвищує вимоги до їх надійності та відтворюваності.

Одним із найбільш важливих етапів аналітичного процесу є пробопідготовка, яка суттєво впливає на якість та достовірність результатів дослідження, дозволяє значно підвищити чутливість визначення, покращити селективність [5]. Вона включає операції з відбору проби, відокремлення і концентрування аналіту та підготовки його до інструментального аналізу. Неправильний вибір або виконання операцій цього етапу може призвести до втрати аналіту, появи домішок або спотворення результатів, що особливо критично для криміналістичних досліджень.

Складність об'єктів криміналістичного аналізу (біологічні зразки, ґрунт, технічні матеріали) зумовлює необхідність ретельного підходу до вибору методів пробопідготовки. Саме на цьому етапі закладається основа точності подальшого аналізу, оскільки якість підготовленого зразка безпосередньо визначає можливості аналітичного методу.

Метою даної роботи є аналіз ролі пробопідготовки у підвищенні точності криміналістичного хімічного аналізу з акцентом на методи рідинної та твердофазної мікроекстракції.

Пробопідготовка є невід'ємною частиною аналітичного процесу, оскільки саме на ньому формується якість майбутнього результату [3, 4]. Особливого значення пробопідготовка набуває у криміналістичних дослідженнях, де об'єкти аналізу часто мають складну структуру та містять значну кількість сторонніх компонентів. Наявність домішок або недостатнє виділення аналіту можуть суттєво вплинути на точність та відтворюваність результатів. Тому правильна організація цього етапу дозволяє зменшити похибки та підвищити достовірність аналізу.

Сучасні методи пробопідготовки головним чином включають твердофазну (solid-phase extraction, SPE) та рідинну екстракцію (liquid-phase extraction, LPE) та їх мініатюризовані варіанти [5, 7]. Твердофазна екстракція дозволяє швидко і повністю виділити аналіт навіть з великого об'єму розчину, що забезпечує дуже високий коефіцієнт концентрування та ефективне відділення аналіту від матриці зразка. Мікроекстракційний варіант цього методу (solid-phase microextraction, SPME), який розвивається з початку 90-х років, використовує волокна з діоксиду кремнію, поміщені у мікрошприц. Він дозволяє повністю позбутися використання органічних розчинників, наприклад, при елююванні сорбованих речовин [6]. Введення сорбованих речовин у газовий хроматограф здійснюється шляхом термодесорбції. Це підхід зберігає основні позитивні властивості SPE та дозволяє спростити процедуру пробовідбору летких речовин. Рідинно-рідинна екстракція, у свою чергу, є класичним методом, який широко використовується завдяки своїй простоті та універсальності [3]. Наразі інтенсивно розвиваються методи рідинної мікроекстракції, які можна поділити на два великих класи, тобто методи

крапельної та дисперсійної мікроекстракції. Цікавим варіантом мікроекстракції є парофазна мікроекстракція, в якій достатньо леткий аналіт спочатку переводять у газову фазу, а потім поглинають розчином екстракційної фази. На кафедрі аналітичної хімії запропоновані декілька варіантів цього методу [1, 2]. Вони мають ту перевагу, що повністю пристосовані не тільки для методу газової хроматографії, а й для майже усіх інших методів. Екстракційна фаза в них розміщується в окремому реакторі. В варіанті статичної екстракції трансфер молекул аналіту здійснюється пасивно за рахунок дифузії або конвекції [5], а в динамічному аналіт витискається з аналізованого розчину потоком газу (повітря, азот). В останньому випадку досягається майже повне витіснення аналіту з розчину, який потім поглинається мікрооб'ємом екстракційної фази [1, 2]. Наразі ці підходи ще не були використані для визначення органічних речовин, зокрема тих що належать до об'єктів криміналістичної експертизи.

Пробопідготовка безпосередньо впливає на правильність і відтворюваність результатів аналітичного визначення, оскільки саме на цьому етапі формується склад зразка, який надалі піддається дослідженню [3, 5]. Наявність сторонніх домішок, матричних компонентів або неповне виділення аналіту можуть призводити до суттєвих похибок, що спотворюють результати аналізу. У криміналістичних дослідженнях це має особливо важливе значення, оскільки навіть незначні відхилення можуть вплинути на інтерпретацію отриманих даних.

Однією з основних проблем є втрата аналіту під час обробки зразка, яка може виникати внаслідок адсорбції, випаровування або неповного вилучення речовини. Крім того, присутність сторонніх компонентів може призводити до інтерференцій, що ускладнює ідентифікацію та кількісне

XXIV Всеукраїнська конференція молодих вчених та студентів з актуальних питань сучасної хімії, Дніпро, 18-21 травня 2026 р.

визначення досліджуваних сполук. Це особливо характерно для складних матриць, таких як біологічні рідини або ґрунтові зразки.

Отже, на нашу думку, пробопідготовка є одним із ключових етапів криміналістичного хімічного аналізу, який суттєво впливає на точність та достовірність отриманих результатів. Саме на цьому етапі формується якість зразка, що безпосередньо визначає ефективність подальшого аналітичного визначення.

На наш погляд, використання сучасних методів пробопідготовки дозволяє підвищити чутливість і селективність аналізу, зменшити вплив сторонніх компонентів та забезпечити відтворюваність результатів. Це особливо важливо для криміналістичних досліджень, де точність аналітичних даних має безпосереднє значення для формування обґрунтованих експертних висновків.

Можна стверджувати, що подальший розвиток і вдосконалення методів пробопідготовки є важливим напрямом підвищення якості криміналістичного аналізу та забезпечення наукової обґрунтованості його результатів.

Перспективним виглядає використання сучасних методів рідинної мікроекстракції, зокрема, парофазної мікроекстракції для визначення отрут, наркотичних або психотропних речовин, інших речовин, які мають достатньо велику леткість, або можуть бути знайдені шляхи для їх перетворення у леткі сполуки. Парофазна динамічна мікроекстракція у реактор [1] наразі є єдиним методом, який дозволяє майже повністю, достатньо швидко (5-20 хв), відділити леткі речовини від навіть дуже складної матриці, сконцентрувати їх у малому об'ємі (20-500 мкл) з великого об'єму водного розчину (до 500 мл) і таким чином, вперше досягти аж до 1000-разового і більше ступеню концентрування.

Список літератури:

1. Vishnikin A., Tamen A.-E., Fedoseenko D., Bazel Y. In-trap headspace liquid-phase microextraction for highly sensitive spectrophotometric determination of bromide in water samples. *Analytica Chimica Acta* 1382 (2026) 344832.
2. Tamen A.-E., Vishnikin A. In-vessel headspace liquid-phase microextraction. *Anal. Chim. Acta.* 1172 (2021) 338670.
3. Харитонов Ю. Я. Аналітична хімія : підручник. — К. : Вища школа, 2008. — 559 с.
4. Ског Д. А., Вест Д. М., Голлер Ф. Дж. Основи аналітичної хімії. — К. : Основи, 2001. — 856 с.
5. Skoog D. A., Holler F. J., Crouch S. R. *Principles of Instrumental Analysis.* — 6th ed. — Belmont : Thomson Brooks/Cole, 2007. — 1039 p.
6. Pawliszyn J. *Solid Phase Microextraction: Theory and Practice.* — New York : Wiley-VCH, 1997. — 247 p.
7. Hennion M.-C. Solid-phase extraction: method development, sorbents, and coupling with liquid chromatography // *Journal of Chromatography A.* — 1999. — Vol. 856. — P. 3–54.

ВИКОРИСТАННЯ ПРАКТИЧНИХ НАВИЧОК СТУДЕНТІВ У ДОСЛІДНИЦЬКІЙ РОБОТІ

Баштова І.О., Хмельникова Л. І.

Дніпровський державний медичний університет

м. Дніпро, вул. Володимира Вернадського, 9

Використання практичних навичок студентів у дослідницькій роботі є ключовим елементом підвищення якості вищої освіти, що забезпечує інтеграцію теоретичних знань із науковим пошуком та професійною діяльністю. Це дозволяє студентам не лише засвоювати готові знання, а й самостійно здобувати їх, розвиваючи творче мислення та навички експериментальної роботи.

Така робота стимулює ініціативу студентів, прищеплює навички самостійної наукової діяльності та забезпечує постійне підвищення їхнього фахового рівня. Так, метою дослідницької роботи студентів з хімічних дисциплін були роботи з визначення іонів кальцію та магнію у деяких фармакопейних препаратах [1,с.28], удосконалення методики комплексиметрії вмісту магнію та кальцію з використанням різних індикаторів [2,с.38].

Метою даного дослідження є визначення йонів у воді річки Дніпро. Як відомо, якісний склад води можна характеризувати співвідношенням йонів: Na^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} , Cl^- , SO_4^{2-} , $(\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-})$. Кислотність (рН) води - один із найважливіших робочих показників якості води, який визначає характер хімічних і біологічних процесів, що відбуваються у воді. Концентрація йонів гідрогену у воді є непрямим показником вмісту Карбону [3,с.95] і визначає характер ряду біологічних процесів, які впливають на дихання і обмін речовин, тому визначення рН при обстеженні води є обов'язковим. Унаслідок залежності рН від

XXIV Всеукраїнська конференція молодих вчених та студентів з актуальних питань сучасної хімії, Дніпро, 18-21 травня 2026 р.

співвідношення різних форм карбонатної кислоти активна реакція водного середовища має сезонні і добові зміни. У добовому ході рН має мінімальні значення у передранкові години, коли внаслідок нагромадження CO_2 та H_2CO_3 реакція води стає кислою [3,с.101]. Залежно від величини рН може змінюватися швидкість протікання хімічних реакцій, ступінь корозійної агресивності води, токсичність забруднювальних речовин. У річкових водах рН звичайно коливається в межах 6,5-8,5 [3,с.121].

Кислотність води визначали потенціометричним методом за допомогою рН-метра. рН води змінювалась від нейтрального до слаболужного (7,2 – 7,6). Лужність води характеризує здатність природних вод нейтралізувати йони гідрогену. Основними компонентами, які зв'язують йони гідрогену, в більшості природних вод є йони HCO_3^- , CO_3^{2-} , тому лужність води визначається вмістом гідрокарбонат- і карбонат- йонів. Лужність води і вміст гідрогенкарбонат і карбонат-йонів у воді визначали титруванням розчином хлоридної кислоти в присутності індикатора метилового оранжевого. Лужність води змінювалась від 3,4 ммоль/дм³ до 4,0 ммоль/дм³.

Твердість води зумовлена наявністю солей кальцію і магнію. Як відомо, розрізняють карбонатну і некарбонатну твердість, перша зумовлена гідрогенкарбонатами, друга - переважно хлоридами і сульфатами кальцію і магнію. Загальну твердість води визначали комплексометричним методом. Метод ґрунтується на взаємодії йонів кальцію і магнію з трилоном Б в аміачному буферному розчині (рН 9,5) з утворенням внутрішньокмлексних сполук (хелатів) за наявності металохромних індикаторів. Чутливість методу становила 0,001 ммоль./ дм³. Твердість води змінювалась протягом часу з 4,4 до 7,4 ммоль./ дм³. Хлорид-йони за концентрацією посідають третє місце після гідрогенкарбонат- і сульфат-йонів. Вміст хлоридів у воді у нашому

XXIV Всеукраїнська конференція молодих вчених та студентів з актуальних питань сучасної хімії, Дніпро, 18-21 травня 2026 р.

дослідженні визначали за методом Мора. Титриметричний метод Мора базується на осадженні хлорид-йонів розчином аргентум нітрату AgNO_3 за наявності калій хромату K_2CrO_4 як індикатора. Концентрація хлорид-йонів у воді коливалась від 35,46 до 56,7 мг/дм³.

Сульфат-йони (як хлориди і гідрогенкарбонати) належать до найпоширеніших аніонів природних вод - як прісних, так і солоних. Визначення вмісту сульфатів має важливу роль при дослідженні гідрогенсульфідного бродіння. Гідрогенсульфід виникає особливо легко в збагачених органічними речовинами водах, у яких підвищено вміст сульфатів. Вміст сульфатів у воді визначали титриметричним методом, який ґрунтується на осадженні сульфатів йонами барію у вигляді BaCl_2 , надлишок якого осаджується калій хроматом. Надлишок калій хромату, який не витрачено на реакцію з надлишком барій хлориду, визначали за кількістю йоду, що був одержаним із калій йодиду у кислому середовищі. Кількість йоду, що утворюється, визначається титруванням розчином натрій тіосульфату $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$. Як свідчать результати досліджень, вміст сульфатів у воді значно коливається з 86,0 до 151,2 мг/дм³.

Список використаної літератури

1. Крилкіна А.І. Впровадження методів аналізу при визначенні йонів кальцію в фармакопейних препаратах у викладанні дисципліни «Аналітична хімія» /А.І. Крилкіна, Л.І. Хмельникова// Матеріали XXI Всеукраїнської конференції молодих вчених та студентів з актуальних питань сучасної хімії. Дніпро, 2023.С.28-30.
2. Крилкіна А.О. STEM-освіта – ефективний підхід до впровадження дослідницької роботи студентів у викладання дисципліни « Аналітична хімія»/А.О. Крилкіна, Л.І. Хмельникова //Матеріали XXII Всеукраїнської конференції молодих вчених та студентів з актуальних питань сучасної хімії, 20-23 травня, ДНУ. с.36-38.2024.
3. Хільчевський. К., Гребеня В. В., «Водний фонд України: Штучні водойми - водосховища і ставки» Довідник К.: Інтерпрес. 2014 – 164 с.

**РОЗРОБКА ПОТЕНЦІОМЕТРИЧНОЇ МЕТОДИКИ ВИЗНАЧЕННЯ
ВІТАМІНУ В₁ З ВИКОРИСТАННЯМ МЕМБРАННИХ І
ТВЕРДОТІЛЬНИХ СЕНСОРІВ**

Маторіна К.В., Гордон А.

*Дніпровський національний університет ім. Олеса Гончара,
м. Дніпро, проспект Науки 72*

Вітамін В₁ належить до цілої групи вітамінів групи В, він є водорозчинним вітаміном та являє собою безбарвну кристалічну речовину, яка руйнується при нагріванні. Тіамін – водорозчинна сполука, яка бере участь у процесах метаболізму жирів, вуглеводів і протеїнів. Без цього вітаміну не обходиться жодна біохімічна реакція, що перебігає в клітинах, крові і тканинах. Він захищає мембрани клітин від токсичного впливу продуктів перекисного окислення. Головною особливістю тіаміну є його здатність регулювати обмін речовин і синтезувати універсальний для всіх клітин енергетичний субстрат - молекули АТФ.

Контроль його вмісту у фармацевтичних препаратах, харчових продуктах і біологічних рідинах є важливим завданням сучасної аналітичної хімії. Найпоширенішими методами кількісного визначення водорозчинних вітамінів є хроматографічні методи аналізу: високоефективна рідинна хроматографія (ВЕРХ) обернених фаз та колонкова рідинна хроматографія з маспектрометричною детекцією. Відомі також методи ВЕРХ з УФ- та кулонометричною детекцією. Проте зазначені методи характеризуються тривалістю аналізу, необхідністю використання дорогого обладнання та складністю виконання. Для аналізу вітамінів групи В використовують також електрохімічні методи, такі як циклічна вольтамперометрія, метод диференційної вольтамперометрії та ін. Однак, наведені методи аналізу мають низку недоліків та є досить тривалими, тому актуальним залишається питання розробки нових методик кількісного визначення вітамінів, зокрема тіамін гідрохлориду.

XXIV Всеукраїнська конференція молодих вчених та студентів з актуальних питань сучасної хімії, Дніпро, 18-21 травня 2026 р.

У зв'язку з цим актуальним є створення простих, швидких та доступних методик визначення тіаміну гідрохлориду. Перспективним та недорогим є метод прямої потенціометрії з використанням ІСЕ, на основі малорозчинних асоціатів гетерополіаніонів (ГПА). Вітаміни мають високу біологічну активність, що зумовлює необхідність розробки мікроелектродів, наприклад твердотільних сенсорів, які дають змогу проводити моніторинг їхнього вмісту у харчових продуктах, фармацевтичних препаратах та біорідинах.

Метою роботи була розробка чутливої та експресної потенціометричної методики визначення вітаміну В1 із використанням мембранних та твердотільних сенсорів, оборотних до тіаміну гідрохлориду.

У результаті взаємодії реагентів отримували осад тіамін гідрохлориду з молібдофосфорною кислотою, який використовували як електродно-активну речовину (ЕАР) полімерної мембрани. Було сконструйовано два типи мембран: на основі нефільтрованого осаду ЕАР та на основі попередньо відфільтрованого осаду ЕАР. Крім того, створено твердотільний сенсор, чутливий до тіаміну гідрохлориду. Аналітичний сигнал вимірювали потенціометричним методом у вигляді електрорушійної сили гальванічного елемента, що складався з В₁-селективного електрода та хлоридсрібного електрода порівняння.

Дослідження електродних функцій показало, що мембранний сенсор на основі відфільтрованої ЕАР характеризується найбільшою крутизною електродної функції: $S=35$ мВ/рС при інтервалі лінійності: рС=2,0–4,3. Для мембранного сенсора на основі нефільтрованої ЕАР отримано: $S=31,7$ мВ/рС при ширшому інтервалі лінійності: рС=2,0–5,3. Твердотільний сенсор характеризувався крутизною $S=29$ мВ/рС та інтервалом лінійності рС=2,0–5,0. Проведено кондиціонування сенсорів протягом 1–3 діб.

XXIV Всеукраїнська конференція молодих вчених та студентів з актуальних питань сучасної хімії, Дніпро, 18-21 травня 2026 р.

Встановлено, що кондиціонування практично не впливає на електродно-аналітичні характеристики сенсорів, оскільки значення крутизни та інтервали лінійності залишаються майже незмінними. Електродно-аналітичні характеристики свідчать про близькість експериментальних значень крутизни до теоретичного нахилу для двозарядного іона.

Таблиця 1 – Коефіцієнти селективності сконструйованих сенсорів, оборотних до вітаміну В₁

Тип електроду		Мембранний		Твердотільний
ЕАР	Заважаючі йони	МФК – В ₁	МФК – В ₁ (відфільтрований)	МФК – В ₁
К _{сел}	Na ⁺	5,0·10 ⁻³	5,0·10 ⁻³	1,0·10 ⁻²
	Pb ²⁺	6,0·10 ⁻²	1,0·10 ⁻¹	1,0·10 ⁻²
	K ⁺	1,0·10 ⁻³	2,0·10 ⁻³	5,0·10 ⁻³
	Cu ²⁺	3,0·10 ⁻²	1,0·10 ⁻¹	3,0·10 ⁻¹
	Ac ⁻	6,0·10 ⁻²	1,0·10 ⁻¹	1,0·10 ⁻²
	SO ₄ ²⁻	3,0·10 ⁻²	1,0·10 ⁻¹	3,0·10 ⁻¹
	NO ₃ ⁻	1,0·10 ⁻³	2,0·10 ⁻³	5,0·10 ⁻³
	B ₁₂	1,4·10 ⁻²	8,0·10 ⁻²	6,0·10 ⁻³
	B ₆	8,0·10 ⁻³	1,0·10 ⁻¹	4,5·10 ⁻²
	PP	1,0·10 ⁻²	2,0·10 ⁻²	1,0·10 ⁻¹

Коефіцієнти селективності створених сенсорів визначали методом окремих розчинів (таблиця 1). У якості ЕАР використовували МФК – В₁. У

XXIV Всеукраїнська конференція молодих вчених та студентів з актуальних питань сучасної хімії, Дніпро, 18-21 травня 2026 р.

якості внутрішнього розчину використовували водний розчин вітаміну В₁ з концентрацією $C=1 \cdot 10^{-4}$ М, приготований на фоні 1 М розчину KSCN.

Таким чином, згідно даних таблиці 1 сконструйовані сенсори, оборотні до вітаміну В₁, є достатньо селективними, коефіцієнти селективності лежать у межах $1 \cdot (10^{-3} - 10^{-1})$. Розроблені сенсори з ЕАР: МФК – В₁ можна використовувати в аналізі фармацевтичних препаратів, до складу яких входить вітамін В₁, а також вітамінних сумішей та зразках харчових продуктів, зокрема кислотних витяжках кедрового горіху та кунжуту (таблиця 2).

Таблиця 2 – Результати потенціометричного визначення вмісту тіамін гідрохлориду у реальних об'єктах методом градувального графіка (P=0,95; n=3)

Об'єкт	Знайдено			Заявлено
	Мембранний МФК – В ₁	Мембранний МФК – В ₁ (відфільтрований)	Твердотільний МФК – В ₁	
Ін'єкція «тіамін гідрохлорид», мг/мл	(48,25±0,12)	(51,20±0,11)	(51,33±0,11)	50,00
Таблетованна форма вітаміну В ₁ «21-st Century», мг	(97,40±0,35)	(98,4±0,28)	(98,06±0,17)	100,00
Кедровий горіх, мг/100 г продукту	(26,69±1,7)	(29,62±1,5)	(28,90±1,9)	33,82
Кунжут, мг/100 г продукту	(0,74±0,13)	(1,12±0,08)	(0,99±0,16)	1,27
Листя грецького горіха, мг/100 г продукту	(12,15±0,55)	(12,71±0,41)	(12,63±0,44)	–

Розроблену потенціометричну методику апробовано на реальному об'єкті — розчині для ін'єкцій «Тіамін гідрохлорид» (таблиця 2). Відносне стандартне відхилення не перевищувало 8,2 %. Згідно з F-критерієм

Фішера: $F_{розр} < F_{табл}$, що підтверджує відсутність статистично значущої різниці між методиками.

Висновки

1. Сконструйовано мембранний і твердотільний сенсори, на основі ЕАР: МФК – V_1 , чутливі до тіамін гідрохлориду.
2. Визначено електродно-аналітичні характеристики сконструйованих сенсорів. Для мембранного сенсору вони наступні: pC 2,0-4,3; $S = 35,0$ мВ/ pC , час відгуку – 3 хвл, $C_{min} = 5,0 \cdot 10^{-6}$ М, внутрішній розчин вітаміну V_1 з $C = 10^{-4}$ М; для твердотільного сенсору: pC 2,0-5,0; $S = 29,0$ мВ/ pC , час відгуку – 2 хвл, $C_{min} = 2,0 \cdot 10^{-7}$ М.
3. Методом окремих розчинів визначені коефіцієнти селективності розроблених сенсорів $K_{сел} = 1 \cdot (10^{-1} - 10^{-3})$. Сконструйовані сенсори мембранний та твердотільний на основі ЕАР: МФК – V_1 можна використовувати в аналізі суміші вітамінів, які містять ціанокобаламін, піридоксин гідрохлорид та нікотинову кислоту, так як вони не заважають визначенню тіамін гідрохлориду.
4. Розроблена потенціометрична методика визначення вітаміну V_1 апробована на реальних об'єктах: розчин для ін'єкцій «Тіамін гідрохлорид» ($51,20 \pm 0,11$) мг/мл; таблетована форма вітаміну V_1 «21-st Century» ($98,4 \pm 0,28$) мг; кедровий горіх ($29,62 \pm 1,5$) мг/100 г продукту, кунжут ($1,12 \pm 0,08$) мг/100 г продукту, листя волоського горіха ($12,71 \pm 0,41$) мг/100 г продукту. Відносне стандартне відхилення не перевищує 8,2 %.
5. Отримані дані потенціометричного визначення вітаміну V_1 у реальних об'єктах порівняли з результатами, отриманими за альтернативною алкаліметричною методикою. Оскільки розрахований F -критерій менший за табличне значення $F_{розр} < F_{табл}$ ($F_{табл} = 19$), то розбіжність $S_{потенц.}$ і $S_{алкалім.}$ незначна.

Секція

**ОРГАНІЧНА ТА
ФАРМАЦЕВТИЧНА
ХІМІЯ**

**Керівник: проф., д-р хім. наук Пальчиков Віталій
Олександрович**

**Секретар: проф., д-р фарм. наук Коваленко
Сергій Іванович**

SYNTHESIS AND PROSPECTS FOR THE APPLICATION OF 1,2-DIPHENYL-1,5,6,7-TETRAHYDROTHIOPYRANO[3,2-b]PYRROLE 4,4-DIOXIDE AS A KEY BUILDING BLOCK FOR THE DEVELOPMENT OF PHARMACEUTICALS

Popadyuk M. V., Dil K.V
Oles Honchar Dnipro National University
49010, Dnipro, Nayky Str. 72
E-mail: katerina.vlodimirovna@ukr.net

The pyrrole moiety is a key component in many well-known medicinal products, offering opportunities for the development of new biologically active compounds with a broad spectrum of activity. This class of heterocyclic compounds exhibits a variety of pharmacological properties, including antibacterial, antiviral, anti-inflammatory, antitumour and antioxidant activity. Prominent examples include medicinal products such as: calcium atorvastatin (Lipitor), tolmetin, sunitinib, and indomethacin [1] (Fig. 1).

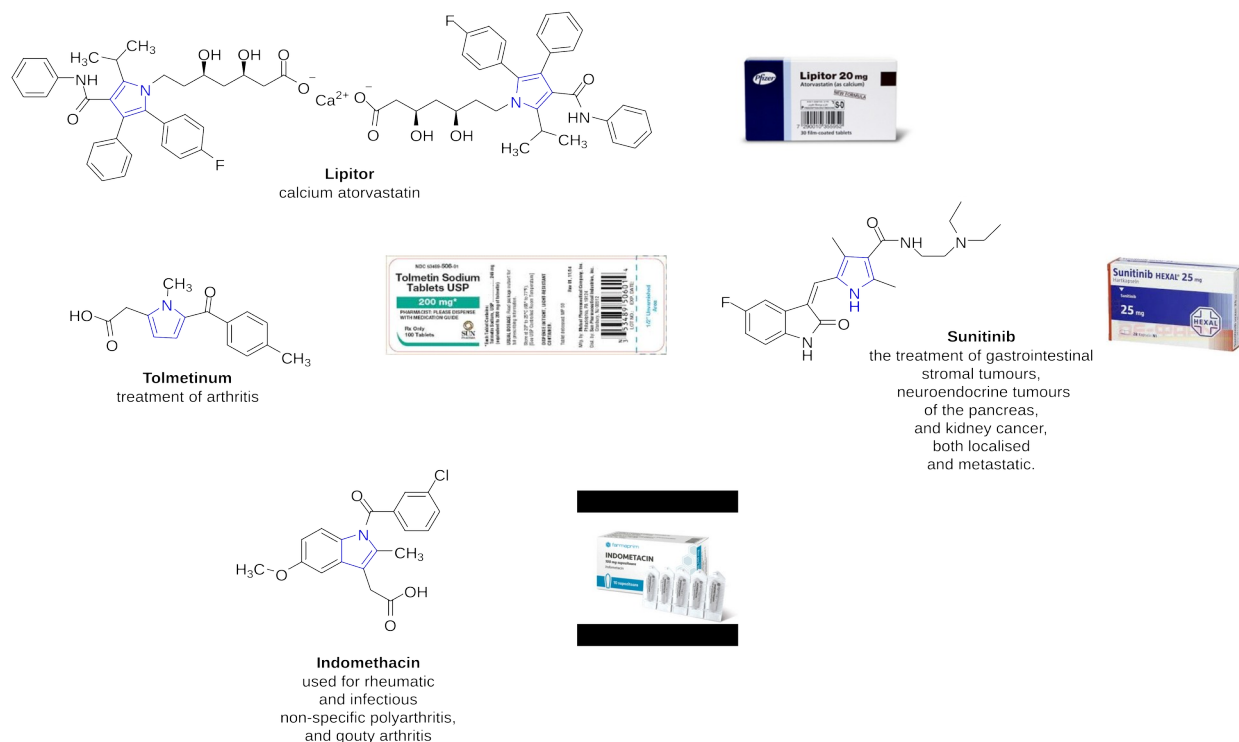
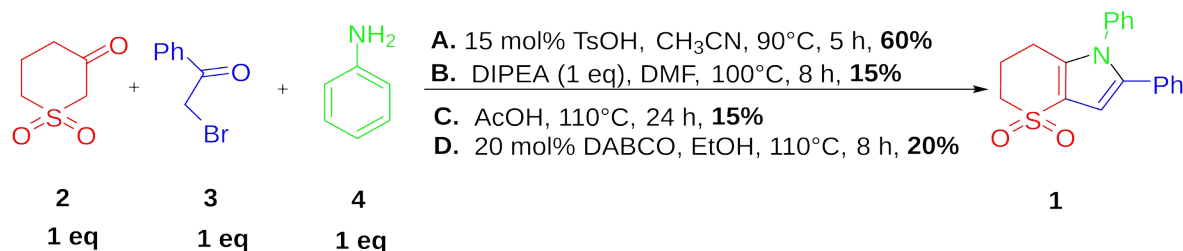


Fig.1 - Examples of medicinal products based on a pyrrole fragment

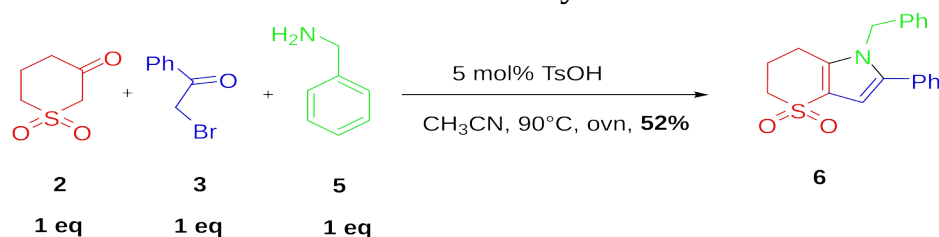
Given that the pyrrole fragment is of high interest for the synthesis of drugs, a three-component reaction for the synthesis of 1,2-diphenyl-1,5,6,7-tetrahydrothiopyrano[3,2-b]pyrrole-4,4-dioxide **1** was developed based on the interaction of β -ketosulfone **2** with 2-bromo-1-phenfluoroethane **3** and aniline **4**. During the study, optimal conditions were selected. The product yield was 15-60%(Scheme 1).



Scheme 1 - Optimal conditions for the synthesis of a compound with a pyrrole fragment

Furthermore, to compare reactivity and demonstrate the influence of the nature of the amine on the reaction, as well as to compare the reactivity of amines, we replaced the aromatic compound 4 with the aliphatic compound 5. Since the electron pair of benzylamine does not participate in aromatic delocalisation, it is: more nucleophilic; easier to attack an electrophilic centre; and typically enters into condensation and cyclisation processes more readily (*Scheme 2*).

Interestingly, the pyrrole compound we synthesised with benzylamine did not yield a significantly higher yield, which may indicate side reactions, excessive reactivity of benzylamine, different stability of the intermediates, as well as steric or electronic features of the final cyclisation.



Scheme 2 – Comparative synthesis of a pyrrole derivative using benzylamine instead of aniline

Thus,

1. The pyrrole moiety is a versatile pharmacophore that has already proven its efficacy in a number of medicinal products;
2. 1,2-diphenyl-1,5,6,7-tetrahydrothiopyrano[3,2-b]pyrrole 4,4-dioxide shows promise as a basis for the development of new anti-inflammatory, anti-tumour and antimicrobial drugs.
3. Further research should include biological testing, molecular docking, pharmacokinetic studies and the refinement of the synthesis methodology.

References

Org. lett., 2010, 12 (22), 5182-5185 <https://doi.org/10.1021/ol102216x>

ОСОБЛИВОСТІ АЦИЛУВАННЯ 3-(2-АМІНОФЕНІЛ)-6-МЕТИЛ-1,2,4-ТРИАЗИН-5(2H)-ОНУ ХЛОРАЦЕТИЛХЛОРИДОМ ТА РОЗРОБКА АЛЬТЕРНАТИВНИХ МЕТОДІВ СИНТЕЗУ НОВОЇ БЕНЗОТРИАЗИНОДІАЗЕПІНОВОЇ СИСТЕМИ

Бершак А. Ю., Коптева С.Д., Коваленко С.І.

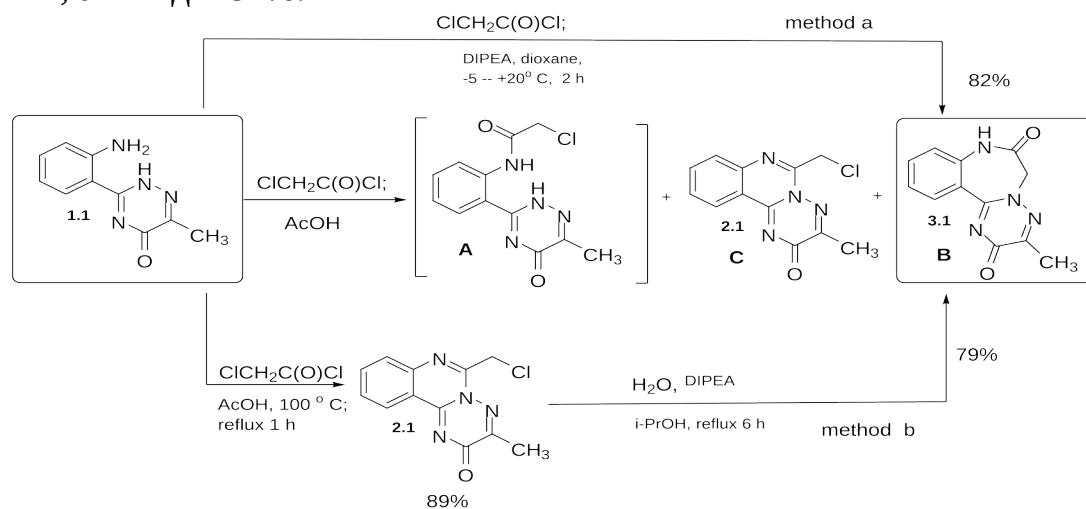
*Дніпровський національний університет ім. Олеся Гончара,
м. Дніпро, проспект Науки 72*

Відомо, що похідні 1,4- та 1,5-бензодіазепінів знайшли широке застосування у медицині як ефективні лікарські засоби (Діазепам, Оксазепам, Нітразепам, Хлордіазепоксид, Темазепам, Лоразепам, Цинолазепам, Квазепам та інші), крім того бензодіазепіновий каркас є ключовим в синтезі гетероанельованих похідних. Ацелювання азолів та азинів до бензодіазепінового циклу є також виправданим та вдалим підходом щодо модифікації гетероциклічної системи, а отримані сполуки мають високу спорідненість до бензодіазепін-ГАМК рецепторного комплексу [1-5]. Сприятливий профіль фармакологічної дії бензодіазепінів і, на сьогодні, сприяє їх застосуванню у медицині як анксиолітичних, седативних, протисудомних, снодійних, седативних, міорелаксичних лікарських засобів. Отже, спрямований пошук та розробка доступних методів синтезу нових гетероанельованих бензодіазепінів є перспективним напрямком досліджень.

Метою даного дослідження був пошук практичних та доступних шляхів синтезу нової бензо[*f*][1,2,4]триазино[1,5-*d*][1,4]діазепінової системи, яка може бути використана для подальшої структурної модифікації та пошуку біологічно активних сполук з покращеними властивостями.

Одним із відомих синтетичних підходів до формування 1,4-бензодіазепінового циклу є конденсація відповідних нітрогеновмісних 1,5-бінуклеофілів з галогенангідрідами α -галогенкарбонів кислот. В якості модельного 1,5-бінуклефілу нами було обрано 3-(2-амінофеніл)-6-метил-1,2,4-триазин-5(2H)-он **1.1**, який було введено в реакцію ацилування хлорангідрідом хлороцтової кислоти. Встановлено, що взаємодія 3-(2-амінофеніл)-6-метил-1,2,4-триазин-5(2H)-ону **1.1** з хлороацетил хлоридом за температури від -5 до +20°C в оцтовій кислоті за відсутності основи приводить до утворення суміші сполук, а саме 2-хлоро-*N*-(2-(6-метил-5-оксо-2,5-дигідро-1,2,4-триазин-3-іл)феніл)ацетаміду (**A**), 6-(хлорометил)-3-метил-2H-[1,2,4]триазино[2,3-*c*]хіназолін-2-ону **2.1** (**B**) у співвідношенні 1:3,5 та слідової кількості 3-метилбензо[*f*][1,2,4]триазино[2,3-*d*][1,4]діазепін-2,7(6H,8H)-діону **3.1** (**C**) Зазначаємо, що підвищення температури реакційної суміші зміщує рівновагу в бік утворення хіназолінової системи **2.1** (**B**), а повна конвертація вихідного аніліну **1.1** відбувається впродовж 1

години при нагріванні у інтервалі температур 80-100° С (схема). Також показано, що додавання до реакційного середовища нуклеофільних основ (натрій ацетат, N(Et)₃) за температури від -5 до +20° С, зміщує рівновагу реакції в бік формування бензодіазепінової системи **3.1** (**C**), однак у реакційній суміші присутні домішки сполуки **2.1** (**B**) (співвідношення **3.1** до **2.1** склало ≈ 3:1) та слідові кількості сполуки **A**. При проведенні ацилювання сполуки **2.1** у присутності ненуклеофільних основ (DIPEA, DBU) вдалося отримати бензодіазепін **3.1** без домішок хіназоліну **2.1**. Тому з метою розробки ефективного методу синтезу **3.1** було проведено оптимізацію умов проведення реакції ацилювання для виявлення впливу ненуклеофільних основ, розчинників, співвідношення реагентів та температури на напрямок її перебігу. Як розчинники використовували діоксан, тетрагідрофуран, диметилформамід, як ненуклеофільні основи було взято DIPEA та DBU, тривалість реакції контролювали методом тонко-шарової хроматографії, температура варіювалась від -5 до +20°С. Встановлено, що оптимальними умовами синтезу цільової сполуки **3.1** шляхом прямого ацилювання аніліну **1.1** є наступне співвідношення реагентів: вихідний анілін/хлорангідрид/DIPEA = 1:1,3:3; розчинник діоксан; температура від -5 до +20°С, тривалість реакції при цьому склала 2 години, а вихід – 82%.



Наступним етапом дослідження була спроба розробити альтернативні методи синтезу цільового триазинобензодіазепіну **3.1** шляхом нуклеофільного розширення хіназолінового циклу у 6-(хлорометил)-3-метил-2H-[1,2,4]триазино[2,3-с]хіназолін-2-ону **2.1** (**B**), з урахування того, що це проміжна сполука, яка утворюється при прямому ацилюванні. Також сполука **2.1** легко отримується ацилюванням аніліну **1.1** хлорангідридом хлороцтової кислоти в крижаній оцтовій кислоті при нагріванні в температурному інтервалі 80-100°С впродовж 1 години з виходом 89%. Встановлено, що кип'ятіння сполуки **2.1** в ізопропанолі в присутності каталітичної кількості води та 3-х кратного надлишку DIPEA проходить

регіоселективно та приводить до утворення бензотриазинодіазепіндіону **3.1** з виходом 79%.

Структура цільового 3-метилбензо[*f*][1,2,4]триазино[2,3-*d*][1,4]-діазепін-2,7-(6*H*,8*H*)-діону **3.1** була підтверджена даними хроматомас-, ¹H, ¹³C ЯМР спектрів та рентгеноструктурним аналізом.

Таким чином, досліджено особливості перебігу реакції ацилювання 3-(2-амінофеніл)-6-метил-1,2,4-триазин-5(2*H*)-ону та встановлено вплив температури, розчинників та основних каталізаторів на напрямок перебігу реакції гетероциклізації. Визначено оптимальні умови синтезу цільового 3-метилбензо[*f*][1,2,4]триазино[2,3-*d*][1,4]діазепін-2,7-(6*H*,8*H*)-діону, як прямим ацилюванням 1,5-бінуклефілу, так і шляхом нуклеофільного розширення хіназолінового циклу. Синтезований 3-метилбензо[*f*][1,2,4]-триазино[2,3-*d*][1,4]діазепін-2,7-(6*H*,8*H*)-діон **3.1** є представником нового класу гетероциклічних сполук, тому використання заміщених вихідних **1.1** та структурних аналогів хлорангідридів галогенкарбонових кислот надають змогу створити більш широку хімічну бібліотеку «будівельних блоків» для подальшої структурної модифікації. Крім того, молекула сполуки **3.1** поєднує структурні особливості як класичних 1,4-бензодіазепінів, так і β-карболінових інверсних агоністів, що робить його кандидатом для дослідження на бензодіазепіновому модуляторному сайті рецептора γ-аміномасляної кислоти типу A (ГАМК~A~P), а проведений раціональний дизайн та оцінка фармакологічного та токсикометричного профілю дозволить виділити перспективні кандидати для подальших досліджень на предмет впливу на ЦНС.

1. Benzodiazepine-Based Drug Discovery / A1-Zamani F., Doustkhah E. // Heterocyclic Drug Discovery, Elsevier, 2022. – 338p. <https://books.google.com.ua/books?id=Ut5sEAAAQBAJ>
2. Chouinard G. (2004). Issues in the clinical use of benzodiazepines: potency, withdrawal, and rebound. *Journal of Clinical Psychiatry*, 2004, 65: 7-12. <https://www.psychiatrist.com/pdf/issues-in-the-clinical-use-of-benzodiazepines-potency-withdrawal-and-rebound-pdf/>
3. Crocetti L., Guerrini G. (2020). GABAA receptor subtype modulators in medicinal chemistry: an updated patent review (2014-present). *Expert Opinion on Therapeutic Patents*, 30(6): 409 – 432. <https://doi.org/10.1080/13543776.2020.1746764>.
4. Saari T.I., Uusi-Oukari M., Ahonen J., Olkkola K.T. (2011). Enhancement of GABAergic activity: neuropharmacological effects of benzodiazepines and therapeutic use in anesthesiology. *Pharmacological Reviews*, 63 (1): 243–267. <https://doi.org/10.1124/pr.110.002717>.
5. Al-Kuraishy H.M., Al-Gareeb A.I., Saad H.M., El-Saber G.B. (2023). Benzodiazepines in Alzheimer’s disease: beneficial or detrimental effects. *Inflammopharmacol*, 31: 221–230. <https://doi.org/10.1007/s10787-022-01099-4>.

**КЕРОВАНИЙ ШТУЧНИМ ІНТЕЛЕКТОМ ДИЗАЙН НОВИХ
НОРБОРНАДІЄНОВИХ СИСТЕМ ДЛЯ НАКОПИЧЕННЯ ТА
ЗБЕРІГАННЯ СОНЯЧНОЇ ЕНЕРГІЇ**

Приймаченко В.В., Тимошенко К.І., Пальчиков В.О., Ісаєв О.К.

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара

49045, м. Дніпро, просп. Науки, 72

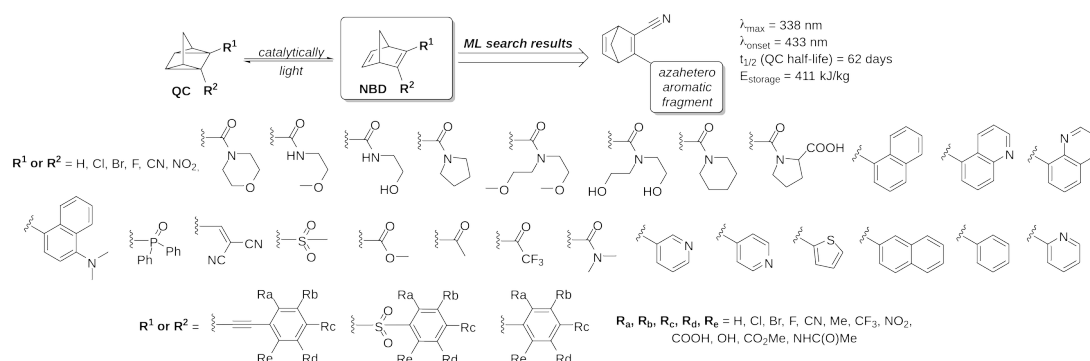
Певні молекулярні фотоперемикачі здатні під дією сонячного світла переходити в метастабільний високоенергетичний стан шляхом ізомеризації. Ці фотоізомери можуть згодом повертатися до свого основного стану при нагріванні або за умов каталізу, вивільняючи накопичену енергію у вигляді тепла. Цей фотохімічний цикл є основою молекулярних систем накопичення енергії, так званих MOST-систем (MOlecular Solar Thermal).

Серед різних досліджуваних фотоперемикачів ізомерна пара норборнадієн (NBD) - квадрициклан (QC) виділяється як особливо перспективна. Для практичного та ефективного функціонування MOST-систем необхідно дотримуватися кількох ключових критеріїв: оптичні властивості речовин повинні добре співпадати з сонячним спектром (зокрема відповідні значення λ_{\max} та λ_{onset}); мінімальне спектральне перекриття між двома фотоізомерами; високий квантовий вихід фотоізомеризації; тривалий час життя метастабільного QC-ізомеру; значна енергетична різниця (ΔH) між формами NBD і QC.

Крім того, сполуки мають бути легкодоступними та придатними для простого препаративного масштабування. Для системного вирішення цих вимог було складено експериментальний набір даних, що містить приблизно 250 описаних у літературі похідних норборнадієну, кожна з яких охарактеризована за відповідними фізико-хімічними та фотохімічними властивостями.

XXIV Всеукраїнська конференція молодих вчених та студентів з актуальних питань сучасної хімії, Дніпро, 18-21 травня 2026 р.

Для ідентифікації молекулярних перемикачів з оптимальними фотофізичними властивостями ми застосували обчислювальний метод прогнозування властивостей за допомогою машинного навчання з підкріпленням для дослідження хімічного простору заміщених норборнадієнів. Моделі машинного навчання були навчені на підготовлених нами наборах даних. Ці сурогатні моделі виконували роль функцій винагороди в межах нейромережевої архітектури у стилі AlphaZero, яка ітеративно збирала молекули-кандидати з бібліотеки фрагментів, одночасно оптимізуючи багатокритеріальну винагороду, що поєднувала прогнозовані фотофізичні властивості та синтетичну доступність. Конструювання на основі фрагментів забезпечило структурну коректність та збереження норборнадієнового ядра протягом усього генеративного процесу. Високопродуктивна генерація молекул дозволила виявити найбільш перспективний структурний клас: нітрил-функціоналізовані норборнадієни, що містять азгетероароматичний фрагмент у системі спряження.



Наразі триває синтез найбільш перспективних кандидатів в класі норборнадієнів, відібраних за допомогою алгоритмів машинного навчання, визначення їх фізико-хімічних та оптичних властивостей і таким чином оцінка придатності їхнього застосування в реальних системах накопичення та зберігання сонячної теплової енергії.

СИНТЕЗ ТА ЗАСТОСУВАННЯ АЛКІЛСТАННАНТРАНІВ ЯК УНІВЕРСАЛЬНИХ ПРЕКУРСОРІВ ДЛЯ C(SP³)-C(SP²) КРОС-КАПЛІНГУ

Семьошкіна О.Д.^{1,2}, Запорожець О.С.^{1,3}, Корнева В.В.^{1,3}, Носик П.С.^{1,3},
Ляшук О.С.^{1,2}, Григоренко О.О.^{1,2,3}

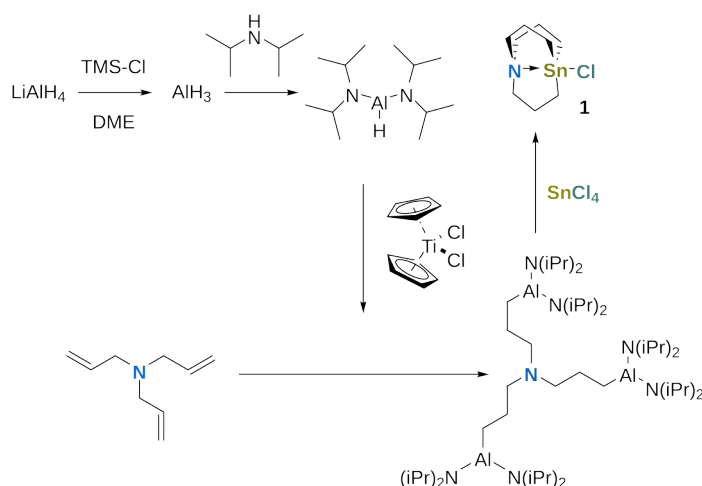
¹ Київський національний університет імені Тараса Шевченка

² ПУ «НДІ Єнамін», Київ

³ Enamine Ltd., Київ

semioshkinaelena@knu.ua

Серед існуючих методів утворення зв'язків вуглець–вуглець реакція Стілле залишається однією з найпривабливіших з синтетичної точки зору завдяки винятковій толерантності до функціональних груп та відсутності необхідності використання водного середовища, основ чи зовнішніх активаторів, характерних для реакцій Сузукі або Хіями. Водночас застосування реакції Стілле до sp³-гібридизованих субстратів залишається проблематичним. Основними обмеженнями є низька швидкість стадії переметалювання для неактивованих стануморганічних сполук та недостатня селективність перенесення алкільної групи. Ці труднощі можуть бути подолані шляхом заміни класичних триалкілстанумвмісних реагентів на станнантрани. Синтетична доступність алкілстаннантранів залишається обмеженою: більшість описаних підходів базується на переметалюванні з попередньо отриманих органолітієвих, магній- або цинкорганічних сполук, що суттєво звужує коло доступних субстратів і обмежує функціональну толерантність.

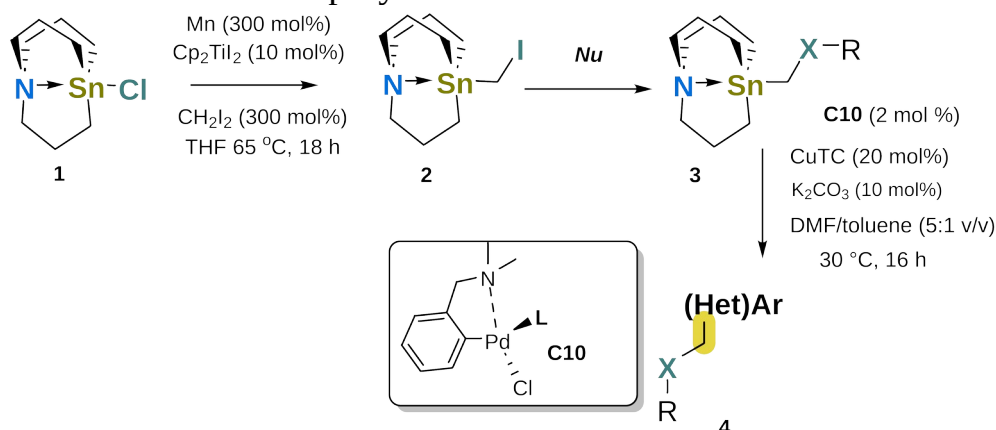


Розроблено оригінальний підхід до отримання ключового станнантранілхлориду $[\text{Sn}]-\text{Cl}$ **1**, оскільки відомі методи мають низку недоліків, зокрема використання дорогих реагентів, необхідність значного розбавлення або недостатню відтворюваність. У результаті сполука **1** мала обмежену комерційну доступність і значно вищу вартість порівняно з

традиційними стануморганічними хлоридами. З метою подолання зазначених обмежень було розроблено новий масштабований підхід, заснований на послідовному гідрометалюванні триаліламіну з подальшим переметалюванням із SnCl₄.

Оптимізація умов передбачає використання амідоалану H–Al(NiPr₂)₂ у тандемі з каталізатором Cr₂TiI₂. У середовищі диметоксиетану (DME) спостерігалася майже повна конверсія триаліламіну з подальшим ефективним переметалюванням, що дозволило отримати станнатранілхлорид з відтворюваним виходом до приблизно 25%. Розроблена методика продемонструвала високу масштабованість і дозволила отримувати до 75 г продукту за один цикл без суттєвої втрати ефективності. Процес базується на використанні дешевих реагентів, не супроводжується утворенням стануморганічних відходів і не потребує хроматографічного очищення, оскільки продукт виділяється кристалізацією.

Синтез похідної [Sn]–CH₂–I **2** відкриває доступ до універсального проміжного продукту для подальшої функціоналізації. Хоча в літературі описано метод із використанням системи диетилцинк/дийодометан із заявленим кількісним виходом, його відтворення показало значно нижчу ефективність і нестабільні результати.



Альтернативні підходи, включаючи використання діазометану, літєвих і магнієвих карбеноїдів, виявилися неефективними. Було встановлено, що необхідним є карбеноїд із проміжною реакційною здатністю — вищою за цинкову, але нижчою за магнієву. Це зумовило звернення до манганвмісних систем. Пряма взаємодія з манганом не давала результату, проте його активація в присутності титаноценових каталізаторів дозволила здійснити ефективне перетворення. У результаті оптимізації були знайдені умови з використанням Mn, Cr₂TiI₂ та CH₂I₂, що забезпечували утворення цільового продукту з виходом до 82% при мінімальній кількості побічних продуктів. Метод також продемонстрував хорошу масштабованість до 81 г, а побічні йодидні продукти можуть бути

перетворені назад у вихідний станнантранілхлорид, що забезпечує ефективне використання олова. Отриманий інтермедіат **2** є універсальним попередником для реакцій нуклеофільного заміщення. Було показано можливість введення широкого спектра нуклеофілів, включаючи кисневі, азотовмісні, сірковмісні, вуглецеві нуклеофіли. Метод продемонстрував високу толерантність до функціональних груп, включаючи Вос-захист, нітрильні групи, вуглеводні фрагменти та сульфоксіміни. Загалом було отримано близько 30 будівельних блоків **3** із типовими виходами понад 60% та масштабом до 30 г.

Застосування синтезованих станнатранів у реакціях Стілле вимагало оптимізації каталітичної системи. Було встановлено, що використання фторид-іонів, традиційно необхідних для класичних оловоорганічних реагентів, у випадку станнатранів не є доцільним, оскільки їх гіперкоординувана структура вже сприяє стадії переметалювання. Більше того, присутність фторидів може негативно впливати на перебіг реакції, імовірно через домішки. Замість цього як акцептор лігандів використовували CuTC, що забезпечувало покращення результатів. Оптимізація привела до ефективної каталітичної системи на основі паладієвого прекаталізатора та електронодефіцитного фосфінового ліганду C10, що забезпечувала виходи до 76%. Розроблена методика характеризується широким колом субстратів, включаючи гетероциклічні сполуки, високою толерантністю до функціональних груп, низькими навантаженнями каталізаторів і відсутністю потреби у фторидних добавках. Водночас встановлено обмеження для субстратів, що містять кислотні N–H групи або α -амінні фрагменти, що, ймовірно, пов'язано з нестабільністю проміжних частинок

Розроблено практичний і масштабований підхід до синтезу алкільних станнатранів, який дозволяє подолати основні обмеження їх доступності та застосування. Запропонована методологія включає ефективний синтез станнантранілхлориду з триаліламіну, високоефективне отримання метиленийодидних похідних за участю манган-титанових карбеноїдних систем, подальшу функціоналізацію до різноманітних $[\text{Sn}]\text{-CH}_2\text{-R}$ сполук і оптимізовані умови проведення реакції Стілле без використання фторидів. Запропонований підхід забезпечує доступ до широкого спектра алкільних станнатранів, придатних для $\text{C}(\text{sp}^3)\text{-C}(\text{sp}^2)$ крос-каплінгу, з доведеною масштабованістю та синтетичною універсальністю.

**ЗАМІЩЕНІ N-(2-(3-ЕТИЛТІО-1H-1,2,4-ТРИАЗОЛ-5-ІЛ)ФЕНІЛ)–
АЦИЛАМІДИ. РОЗРОБКА ОПТИМАЛЬНИХ УМОВ СИНТЕЗУ,
СПЕКТРАЛЬНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ
ЗАСТОСУВАННЯ**

Бутенко А.М., Коваленко С.І.

*Дніпровський національний університет ім. Олеса Гончара,
м. Дніпро, проспект Науки 72*

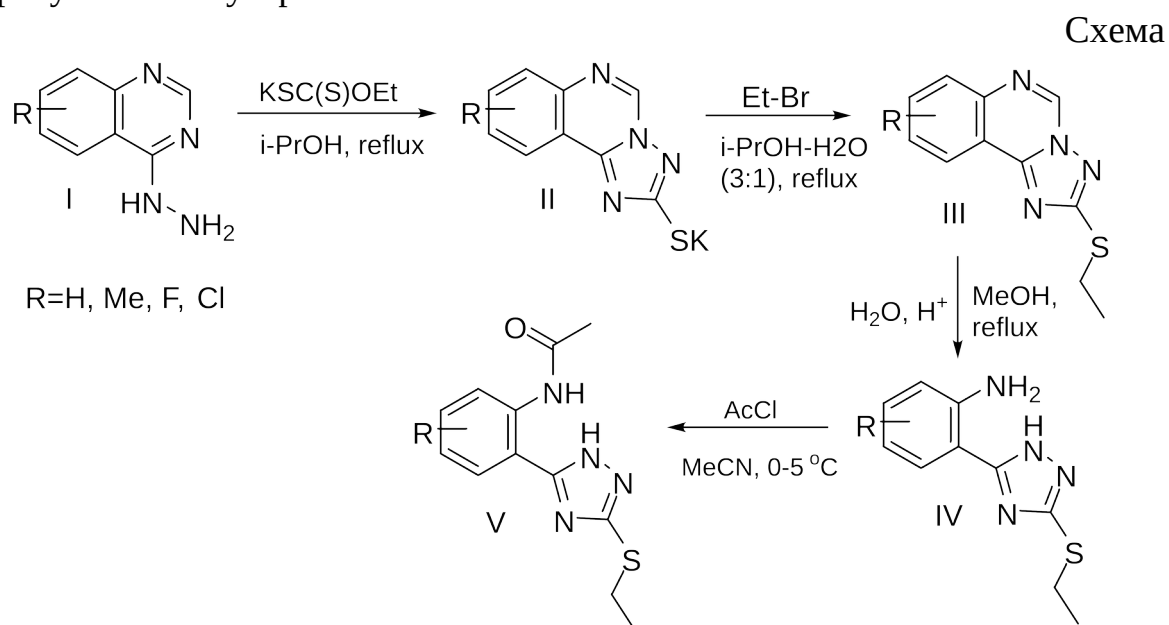
Сучасні органічна та координаційна хімія приділяють значну увагу розробці нових лігандів та їх комплексів з іонами перехідних металів завдяки широкому спектру можливих структурних мотивів та функціональних властивостей [1–4]. Особливий інтерес викликають похідні 1,2,4-триазолу — п'ятичленні гетероциклічні сполуки, які містять три атоми азоту і здатні виступати як багатофункціональні донори в координаційних процесах [5]. Наявність у триазольному кільці декількох донорних центрів та можливість введення різних замісників відкривають шлях до цілеспрямованого синтезу сполук з цікавими фізико-хімічними та біологічними властивостями [6, 7]. Так, комплекси на основі 1,2,4-триазольних лігандів демонструють широкий спектр практичних застосувань. Вони досліджуються як перспективні матеріали з оптичними, магнітними та каталітичними характеристиками [2, 3], а також як моделі природних ферментів, наприклад катехолоксидази [3]. Важливим напрямом є біологічні дослідження, а серед комплексів на основі 1,2,4-триазолу виявлені сполуки з високою антибактеріальною, протигрибковою, протипухлинною та іншими видами фармакологічної дії [5, 6].

Метою роботи було розробка оптимальних умов синтезу нових N-(2-(3-етилтіо-1H-1,2,4-триазол-5-іл)феніл)ациламідів, дослідження їх фізико-хімічних властивостей з перспективою подальшого застосування як лігандів у реакціях комплексоутворення.

У ході виконання роботи були одержані заміщені калію 1,2,4-триазоло[1,5-а]хіназолін-5-тіоляту (II) з відповідних 4-гідразинохіназолінів (I), які надалі піддали реакціям алкілування етилбромідом з утворенням 2-етилтіо-[1,2,4]триазоло[1,5-с]хіназолінів (III). Подальша нуклеофільна деградація піримідинового циклу сполук III під дією нуклеофілу (вода) при кислотному каталізі приводила до утворення відповідних [2-(3-етилтіо-1H-1,2,4-триазол-5-іл)феніл]амінів (IV), які були проацильовані хлорацетилхлоридом з одержанням цільових ациламідів (V, схема).

Структуру та чистоту отриманих сполук було підтверджено комплексом фізико-хімічних методів, включаючи елементний аналіз, хроматомас-, ¹H та ¹³C ЯМР-спектрами. Утворення відповідних [2-(3-

етилтіо-1*H*-1,2,4-триазол-5-іл)феніл]амінів (IV) кардинально змінює характер ^1H ЯМР-спектрів порівняно з проміжними 2-етилтіо-[1,2,4]триазоло[1,5-с]хіназолінами (III). По-перше, це відсутність у ^1H ЯМР-спектрах синглетного сигналу протона 5-го положення трициклічної системи у низькому полі при 9,12-9,10 м.ч. Тоді як, у ^1H ЯМР спектрах сполук IV присутні сигнали протонів NH_2 -групи анілінового фрагмента, які реєструються в спектрі у вигляді уширеного синглету при 5,1-6,2 м.ч. Розширення відмічених протонів у ^1H ЯМР-спектрі пояснюється азол-азольною таутомерією. Важливо, що сигнал синглетного *NH*-протона триазольного кільця у слабкому магнітному полі спектра не реєструється за рахунок обміну з розчинником.



Що стосується ^1H ЯМР-спектрів сполук V, то у спектрі зникає сигнал протонів NH_2 -групи анілінового фрагмента, а натомість з'являються сигнали імідної групи при 11,2 м.ч. та *NH*-протону триазольного циклу при 14,58 м.ч. Важливо, що для сполук V додатково характерна імід-імідна таутомерія і, як наслідок, подвоєння сигналів всіх протонів молекули. Крім того, ^1H ЯМР-спектри сполук IV та V характеризуються сигналами ароматичних протонів анілінового фрагмента, які зазнають діаманітного зсуву через електронодонорний ефект аміногрупи. Синтезовані сполуки додатково характеризуються сигналами протонів етилтіо-групи у 3-му положенні триазольного кільця, хімічний зсув та мультиплетність якої є «класичною».

Наразі, синтезовані [2-(3-етилтіо-1*H*-1,2,4-триазол-5-іл)феніл]аміни (IV) та *N*-(2-(3-(етилтіо)-1*H*-1,2,4-триазол-5-іл)феніл)ацетаміди (V) – перспективні ліганди та будуть використані для одержання координаційних сполук з іонами *d*-перехідних металів (Cu(I), Cu(II), Zn(II), Ag(I) тощо), а також вивчення їх потенційної біологічної активності.

Таким чином, у результаті проведених досліджень розроблені методи синтезу нових *N*-(2-(3-(етилтіо)-1*H*-1,2,4-триазол-5-іл)феніл)ацетамідів, оптимізовані умови протікання реакцій алкілування, нуклеофільної деградації та ацилювання. Будову проміжних та цільових сполук доведено спектральними методами, зокрема ¹H ЯМР-аналізом, а також визначено їх основні фізико-хімічні характеристики.

Література

1. Gusev A. *et al.* (2023). Mononuclear copper(I) complexes bearing a 3-phenyl-5-(pyridin-4-yl)-1,2,4-triazole ligand: synthesis, crystal structure, TADF-luminescence, and mechanochromic effects. *Dalton Trans.*, 52(41): 14995-15008. <https://doi.org/10.1039/D3DT02633G>.
2. Petrenko Y. P. *et al.* (2023). Synthesis and crystal structure of a new copper(II) complex based on 5-ethyl-3-(pyridin-2-yl)-1,2,4-triazole. *Crystallographic Communications*, 79(5): 432-435. <https://doi.org/10.1107/S2056989023003079>.
3. Doroschuk R. (2016). Crystal structure of bis- $\{\mu$ -2-3-(pyridin-2-yl)-5-[(1,2,4-triazol-1-yl)meth-yl]-1,2,4-triazolato $\}$ bis-[aqua-nitrato-copper(II)]dihydrate. *Acta Crystallogr E Crystallogr Commun.*; 72(4): 486-8. <https://doi.org/10.1107/S2056989016003479>.
4. Sumrra S.H. *et al.* (2021). Facile synthesis, spectroscopic evaluation and antimicrobial screening of metal endowed triazole compounds. *Biometals.*; 34(6): 1329-1351. <https://doi.org/10.1007/s10534-021-00345-6>.
5. Wang C. *et al.* (2020). A partially fluorinated ligand for two superhydrophobic porous coordination polymers with classic structures and increased porosities, *National Science Review*, 8(3): nwaa094. <https://doi.org/10.1093/nsr/nwaa094>.
6. Bader A. T. *et al.* (2021). Synthesis, Structural Analysis and Thermal Behavior of New 1,2,4-Triazole Derivative and Its Transition Metal Complexes. *Indonesian Journal of Chemistry*, 22(1): 223–232. <https://doi.org/10.22146/ijc.68859>.
7. El-Naggar M.A. *et al.* (2023). Synthesis and X-ray Structure Analysis of the Polymeric $[\text{Ag}_2(4\text{-Amino-4H-1,2,4-triazole})_2(\text{NO}_3)]_n(\text{NO}_3)_n$ Adduct: Anticancer, and Antimicrobial Applications. *Inorganics*, 11: 395. <https://doi.org/10.3390/inorganics11100395>.

СИНТЕЗ ЛПОФІДЬНИХ АНІЛІНОСКВАРАЇНОВИХ БАРВНИКІВ ТА ОЦІНКА ЇХ РОЗЧИННОСТІ В *n*-ГЕКСАНІ ТА ЦИКЛОГЕКСАНІ

Кузів Я.Б.,¹ Дубей І.Я.,¹ Клішевич Г.В.,² Гнатюк І.І.,² Гринь В.О.,² Кадан В.М.,² Дмитрук І.М.,² Башмакова Н.В.,³ Дмитрук А.М.,³ Бондар М.В.²

¹Інститут молекулярної біології і генетики НАН України

03143 м. Київ, вул. Академіка Заболотного, 150

²Інститут фізики НАН України

03028 м. Київ, проспект Науки, 46

³Київськи національний університет імені Тараса Шевченка

01033, м. Київ, вул. Володимирська, 60

ya.b.kuziv@imbg.org.ua

Сквараїнові барвники продовжують привертати значну увагу як у фундаментальній так і прикладній науці. Вивчаються їх нелінійні оптичні властивості, суперлюмінесценція, застосування у органічній електроніці, як флуоресцентних міток та зондів для медицини та біології, а також для 3D-мікробиробництва, оптичного зберігання даних, та ін. Раніше нами було синтезовано кілька аніліносквараїнових барвників (Рис. 1) із метою вивчення їх нелінійних оптичних властивостей та суперфлуоресценції у апротонних розчинниках, в тому числі неполярних, таких як *n*-гексан та циклогексан. Важливою вимогою до барвників, які синтезуються для таких досліджень є висока розчинність. Переважно барвники цього класу добре розчинні у хлороформі та хлористому метилені, але нерозчинні у насичених алканах.

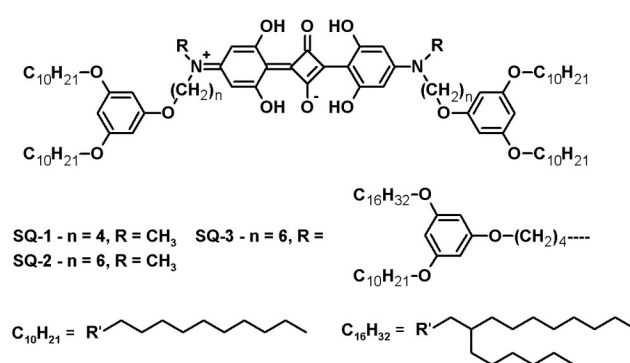


Рис. 1. Раніше синтезовані нами аніліносквараїнові барвники SQ-1, SQ-2 та SQ-3 [1, 2].

Наша перша спроба отримати барвники із високою розчинністю у *n*-гексані та циклогексані не була достатньо успішною, так SQ-1 та SQ-2

мають низьку розчинність [1] [2]. Друга спроба була цілком успішною, розчинність барвника **SQ-3**, у цих розчинниках, знаходиться у сантимольарному діапазоні [2]. У цій роботі ми синтезували барвник **SQ-4** (Схема 1) із потенційно проміжною розчинністю між **SQ-1/SQ-2** та **SQ-3**, щоб отримати попереднє кількісне уявлення про залежність розчинності аніліносквараїнових барвників від їх структури.

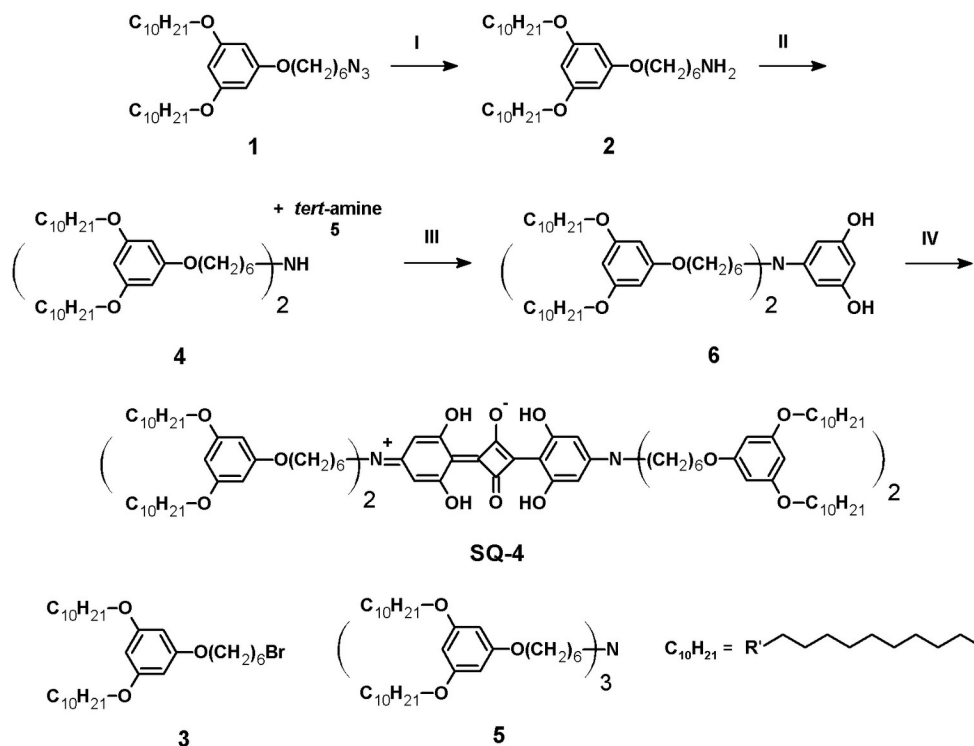


Схема 1. **I.** $LiAlH_4$, ТГФ; **II.** K_2CO_3 , ДМСО-бензол, 35-45°C; **III.** флороглуцин, DIPEA, DBPC, BuOH, 90-95°C; **IV.** сквараїнова кислота, *n*-BuOH-бензол 1:1, 90°C.

Синтез барвника **SQ-4** виконувався подібно до попередніх барвників (Схема 1). Початкові синтони (**1**, **2** і **3**) описані нами раніше [1][2]. Але в даному випадку, первинний амін **2** отримали відновленням азидної похідної **1** літійалюмогідридом у ТГФ. *втор*-Амін **4** синтезували алкілуванням сполуки **2** бромалкільною похідною **3** у суміші ДМСО-бензол [2]. Наступний синтон, флораїнову похідну **6**, отримали конденсацією сполуки **4** із флороглуцином у присутності DIPEA та DBPC (2,6-ди-*трет*-бутил-4-метилфенол) у бутанолі при ~95°C. Сполуку **6** очистили хроматографічно із виходом ~70%. Барвник **SQ-4** синтезували конденсацією **5** із сквараїновою кислотою в суміші бутанол-бензол. Реакція протікала при 90°C протягом 3 годин. Аніліносквараїн **SQ-4** очистили хроматографічно, отримавши темно-фіолетову із зеленим

відтінком твердої речовини. Структуру та чистоту всіх сполук підтверджено тонкошаровою хроматографією (ТШХ), мас-спектрометрією, ^1H - та ^{13}C -ЯМР. Перенасичені розчини **SQ-4** у *n*-гексані утворюють гелеподібну фазу ($T = 10\text{-}15^\circ\text{C}$). Подібне явище описане нами для **SQ-2** у *n*-гексані та циклогексані [2]. Його можна пояснити супрамолекулярною полімеризацією барвника, яка спричинена π - π взаємодією між гетероароматичними хромофорами із утворенням 1D-структур. Супрамолекулярна полімеризація аніліносквараїнових барвників описана в літературі [3] в т. ч. із довгими алкільними ланцюгами [4]. Подібне явище, утворення колоноподібної мезофази, досліджувалося у роботі [5].

Оцінка розчинності **SQ-1**, **SQ-2** та **SQ-4** у *n*-гексані та циклогексані (Таблиця 1) проведена для отримання попереднього кількісного уявлення про залежність розчинність-структура у ряду наших барвників. Її виконали подібно до методу розробленого для визначення розчинності органічних речовин у воді [6]. Дослідження виконали при $10\text{-}12^\circ\text{C}$. Концентрацію вимірювали спектрофотометрично на λ^{max} барвників у *n*-гексані та циклогексані. Зразки розчинів відбирали через два-сім днів після приготування та центрифугували в охолодженій центрифугі перед вимірюванням.

Барвник	тверда фаза	Розчинність, $\times 10^6$ моль/л	
		<i>n</i> -гексан	ζ -гексан
SQ-1	кристали (перекр.)	0,55	3,3
	кристали (розплав)	0,52	7,3
SQ-2	кристали (розплав)	2,5	19
	гель	2,8	21
SQ-4	твердий ¹	8-24	≥ 6000
	гель	100	–

Таблиця 1. Розчинність барвників **SQ-1**, **SQ-2** та **SQ-4** у *n*-гексані та циклогексані ($T = 10\text{-}12^\circ\text{C}$).

¹ – зразок **SQ-4** отриманий випаровуванням із CH_2Cl_2 , висушений один день у вакуумі при 45°C . $T_{\text{пл}} = 52\text{-}59^\circ\text{C}$. Ймовірно, **SQ-4** не є кристалічною речовиною.

Розчин **SQ-1**, урівноважений із кристалічною фазою, готували двома методами. Перший, м'яке перемішування розчинників з твердим **SQ-1**, отриманим шляхом затвердіння розплаву. Останній отримали короткочасним нагріванням (0,5-1 хв) **SQ-1** у віалі (8 мл) при 125°C в інертній атмосфері. Другий, перекристалізація у *n*-гексані та циклогексані. Зразки **SQ-1**, отримані перекристалізацією не містять *n*-гексану та циклогексану за даними ЯМР та мають таку ж температуру плавлення, як і зразок отриманий за методикою [1]. Ідентична $T_{\text{пл}}$ трьох зразків **SQ-1** (до

та після перекристалізації) вказує на те, що вони мають однакову кристалічну структуру і як наслідок повинні мати однакову розчинність. Розчин **SQ-2**, урівноважений із кристалічною фазою, отримали другим методом, описаним вище для **SQ-1** (0,5-1 хв, 120°C). Розчин **SQ-4** у *n*-гексані, урівноважений із його твердою фазою, готували шляхом м'якого перемішування розчинника з порошкоподібним **SQ-4**. Розчинність **SQ-4** у циклогексані оцінювали шляхом додавання невеликої порції розчинника до твердої речовини **SQ-4** у віалі, і після ~10 хвилин м'якого перемішування візуально перевіряли наявність будь-яких нерозчинених частинок зразка. Розчини **SQ-2**, врівноважені із гелем, готували шляхом розчинення барвника при нагріванні та охолодженні до 10-12°C. Розчин **SQ-4**, урівноважений із гелем, готували розчиненням барвника у *n*-гексані при нагріванні. Після охолодження утворювався перенасичений розчин, формування гелю ініціювали додаванням невеликої порції порошкоподібного **SQ-4**. Отримані оціночні значення розчинності барвників **SQ-1**, **SQ-2** та **SQ-4** наведені у Таблиці 1, а **SQ-3** у статті [2].

Зараз досліджуються оптичні властивості барвника **SQ-4**.

Подяка: Роботу виконано за підтримки грантів Національного фонду досліджень України (проект 2025.06/0055 «Вплив фемтосекундного лазерного випромінювання на стратегічні та інноваційні матеріали оптичних детекторів як фізична основа нових оборонних технологій» та проект 2022.01/0011 «Інноваційні фотонні технології медико-біологічного спрямування для повоєнної відбудови України»).

Посилання:

- [1] G. V. Klishevich *et al.*, “Nonlinear optical spectroscopy of new squaraine derivatives with high potential for multidisciplinary applications,” *Phys. Chem. Chem. Phys.*, vol. 27, no. 26, pp. 13917–13928, 2025, doi: 10.1039/d5cp00144g.
- [2] G. V Klishevich *et al.*, “Lipophilic anilino squaraine dye as a novel superluminescent probe with efficient two-photon transition and high photostability,” *Phys. Chem. Chem. Phys.*, 2026, doi: 10.1039/D6CP00423G.
- [3] Z. Yan, S. Guang, H. Xu, X. Su, X. Ji, and X. Liu, “Supramolecular self-assembly structures and properties of zwitterionic squaraine molecules,” *RSC Adv.*, vol. 3, no. 21, pp. 8021–8027, 2013, doi: 10.1039/c3ra40690c.
- [4] L. Kleine-Kleffmann, V. Stepanenko, K. Shoyama, M. Wehner, and F. Würthner, “Controlling the Supramolecular Polymerization of Squaraine Dyes by a Molecular Chaperone Analogue,” *J. Am. Chem. Soc.*, vol. 145, no. 16, pp. 9144–9151, Apr. 2023, doi: 10.1021/jacs.3c01002.
- [5] T. Tan *et al.*, “Tuning Aggregation in Liquid-Crystalline Squaraine Chromophores,” *Adv. Sci.*, vol. 12, no. 22, p. 2416249, Jun. 2025, doi: 10.1002/advs.202416249.
- [6] Test No. 105: Water Solubility, OECD Guidelines for the Testing of Chemicals, Section 1, OECD Publishing, Paris, 1995, doi: 10.1787/9789264069589-en

УТВОРЕННЯ МЕТИЛБЕНЗІМІДАЗОЛУ В УМОВАХ ФОТОХІМІЧНОЇ РЕАКЦІЇ

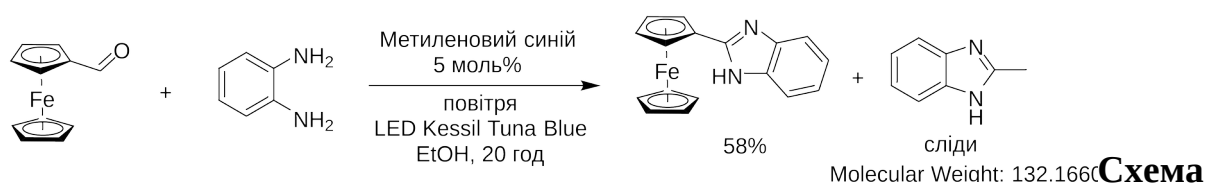
К.І. Тимошенко, В.О. Пальчиков

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара

49010, м. Дніпро, пр-т Науки, 72

Бензімідазольний фрагмент міститься в різноманітних природних сполуках і має важливе значення в медичній хімії. Його різноманітне застосування включає потенційні протипухлинні засоби, антимікробні засоби, інгібітори ангіотензину II, інгібітори реплікації HCMV, селективні антагоністи рецептора нейропептиду YY1. Крім того, бензімідазоли є важливими проміжними продуктами в органічних реакціях [1-5].

З іншого боку, в недавньому огляді [6] наведено структури десятків перспективних фероценвмісних кандидатів на лікарські препарати проти різних видів раку, малярії, патогенних бактерій та грибків, вірусних захворювань та багато іншого. Нами було проведено оптимізацію умов синтезу 2-фероценілбензімідазолу в умовах фотохімічної реакції з о-фенілендіаміну та фероценкарбоксальдегіду. Під час дослідження даної реакції було виявлено утворення 2-метилбензімідазолу у слідових кількостях в якості побічного продукту (Схема 1).



1. Синтез похідних бензімідазолу.

Аналіз реакційних сумішей проводили за допомогою ГХМС (Рисунок 1). 2-метилбензімідазол ідентифіковано шляхом порівняння записаного мас-спектру зі спектром у базі даних NIST (Рисунок 2).

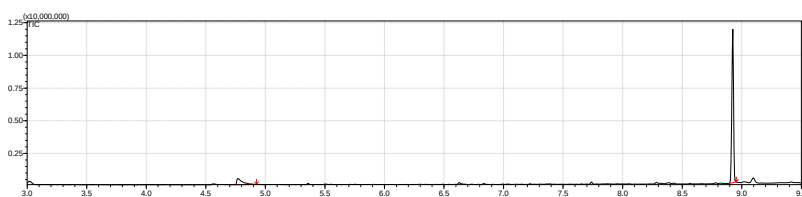


Рисунок 1. Хроматограма реакційної суміші. Час утримання 4.77 хв – 2-метилбензімідазол, 8.92 хв – 2-фероценілбензімідазол.

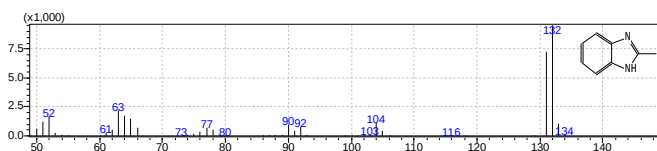


Рисунок 2. Мас-спектр, що відповідає піку 2-метилбензімідазолу.

Нами було проведено серію контрольних експериментів, у яких в реакційній суміші були присутні лише о-фенілендіамін, етанол та фотокаталізатор за доступу повітря. У якості фотокаталізаторів застосовувалися Метиленовий синій, Еозин Y та Бенгальська роза. Виявлено, що 2-метилбензімідазол утворюється і за відсутності фероценкарбоксальдегіду у реакційній суміші (Схема 2, Рисунок 3). На жаль, реакція зупиняється на утворенні лише слідових кількостей речовини.

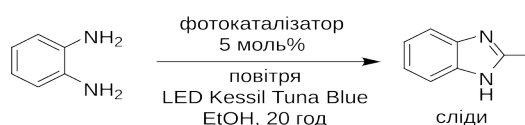


Схема 2. Контрольні експерименти без фероценкарбоксальдегіду.

Можливість синтезу 2-алкілбензімідазолів з о-фенілендіаміну та спиртів в умовах фотокаталізу принципово можлива, як показано в літературних джерелах. Механізм реакції включає в себе утворення супероксид-аніону та окиснення спирту [7].

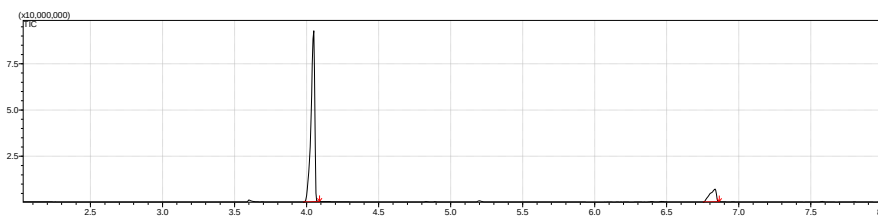


Рисунок 3. Хроматограма реакційної суміші без фероценкарбоксальдегіду. Час утримання 4.05 хв – о-фенілендіамін, 6.83 – 2-метилбензімідазол.

Бібліографічні посилання

- [1] Potential antitumor agents. 59. Structure-activity relationships for 2-phenylbenzimidazole-4-carboxamides, a new class of minimal DNA-intercalating agents which may not act via topoisomerase II / W. A. Denny, G. W. Rewcastle, B. C. Baguley // *J. Med. Chem.* – 1990. – Vol. 33, № 2. – P. 814–819.
- [2] A short synthesis of phenanthro[2,3-d]imidazoles from dehydroabiatic acid. Application of the methodology as a convenient route to benzimidazoles / T. Fonseca, B. Gigante, T. L. Gilchrist // *Tetrahedron.* – 2001. – Vol. 57. – P. 1793–1799.
- [3] Synthesis and Angiotensin II Receptor Antagonistic Activities of Benzimidazole Derivatives Bearing Acidic Heterocycles as Novel Tetrazole Bioisosteres / Y. Kohara, K. Kubo, E. Imamiya, T. Wada, Y. Inada, T. Naka // *J. Med. Chem.* – 1996. – Vol. 39. – P. 5228–5235.
- [4] Design, Synthesis, and Antiviral Evaluations of 1-(Substituted benzyl)-2-substituted-5,6-dichlorobenzimidazoles as Nonnucleoside Analogues of 2,5,6-Trichloro-1-(β -d-ribofuranosyl)benzimidazole / A. R. Porcari, R. V. Devivar, L. S. Kucera, J. C. Drach, L. B. Townsend // *J. Med. Chem.* – 1998. – Vol. 41, № 8. – P. 1252–1262.
- [5] Structure-activity relationship of a series of diaminoalkyl substituted benzimidazole as neuropeptide YY1 receptor antagonists / H. Zarrinmayeh, D. M. Zimmerman, B. E. Cantrell, D. A. Schober, R. F. Bruns // *Bioorg. Med. Chem. Lett.* – 1999. – Vol. 9, № 5. – P. 647–652.
- [6] Ferrocene-based drugs, delivery nanomaterials and fenton mechanism: state of the art, recent developments and prospects / C. Ornelas, D. Astruc // *Pharmaceutics.* – 2023. – Vol. 15, № 8. – номер статті 2044.
- [7] Oxygen vacancy engineering in metal–organic frameworks regulates the generation of reactive oxygen species (ROS) for photocatalytic C=N and C–N coupling / J. Yang, L. Ye, D.-P. Kim, D. Sun // *Inorg. Chem.* – 2025. – Vol. 64, № 42. – P. 21274–21283.

Секція

**ХІМІЯ ТА ХІМІЧНА
ТЕХНОЛОГІЯ
ВИСОКОМОЛЕКУЛЯРНИХ
СПОЛУК**

Керівник: доц., канд. хім. наук Косіцина Олена Сергіївна

Секретар: доц., канд. хім. наук Поджарський Михайло Абрамович

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ПОЛІМЕРУ НА ВОГНЕЗАХИСНУ ЕФЕКТИВНІСТЬ ІНТУМЕСЦЕНТНОГО ПОКРИТТЯ

Дріжд В.Л., Вахітов Р.А., Таран Н.А., Калафат К.В.

Інститут фізико-органічної хімії і вуглехімії ім. Л.М. Литвиненка
НАНУ, Харківське шосе, 50, Київ, Україна, 02155

У світовій практиці інтумесцентні вогнезахисні покриття є одним із найпоширеніших, екологічно прийнятних та економічно ефективних засобів підвищення вогнестійкості будівельних конструкцій. Їх дія ґрунтується на утворенні під дією високих температур об'ємного теплоізоляційного негорючого шару, що формується внаслідок хімічних реакцій між компонентами інтумесцентної системи: каталізатором коксоутворення (поліфосфатом амонію), карбонізуючим агентом (пентаеритритом) та газоутворювачем (меламіном). Сформований пінококсовий шар ефективно уповільнює займання горючих матеріалів і нагрівання металевих конструкцій до температур, за яких знижується їх механічна міцність. Важливою складовою інтумесцентної системи є полімерний плівкоутворювач. Для формування стабільного теплоізоляційного шару полімер повинен термічно розкладатися в одному температурному інтервалі з іншими компонентами композиції та характеризуватися достатньою в'язкістю розплаву. Це запобігає стіканню покриття під час термічної деструкції та сприяє ефективному спучуванню. Термостабільність полімерного зв'язуючого визначає процес утворення коксового шару, його адгезію до підкладки та стійкість до вигорання під час вогневого впливу. Як чисельний показник ефекту вогнезахисту запропановано об'ємний коефіцієнт спучення (K , см³/г), методику визначення якого описано в [1]. Для дослідження впливу полімеру на вогнезахисну ефективність інтумесцентного покриття було складено рецептури IFR водно-дисперсійних та органорозчинних фарб, які представлені у табл. 1.

Таблиця 1 – Склад компонентів (мас. %) в інтумесцентній фарбі

Склад IFR	Водно-дисперсійна	Органорозчинна
Полімер	10 ¹⁾	10
APP	25	26
MA	8	10
PE	10	10
TiO ₂	12	9
Домішки ²⁾	5	5
Розчинник	30	30

Примітка: ¹⁾ Вміст чистого полімеру; ²⁾ диспергатор, загущувач, піногасник.

XXIV Всеукраїнська конференція молодих вчених та студентів з актуальних питань сучасної хімії, Дніпро, 18-21 травня 2026 р.

На рис. 1 представлені залежності об'ємного коефіцієнта спучення (К) інтумесцентних композицій з різними полімерами (табл. 2) від температури.

Таблиця 2 – Полімерні складові досліджених інтумесцентних систем IFR

№ IFR	Хімічна структура співполімеру	Торгівельна назва	Скорочена назва
Водні дисперсії полімеру			
IFR1	Вінілацетат-етилен (Wacker, США)	Vinnapas® EZ 3010	EZ 3010
IFR2	Вінілацетат-етилен вінілверсатат (Wacker, США)	Vinnapas® EZ 3112	EZ 3112
IFR3	Вінілацетат-етилен-вінілхлорид (Wacker, США)	Vinnapas® CEZ 3031	CEZ 3031
IFR4	Стирол-акрилат (Omnova Solutions, США)	Hydro Pliolite 211	H211
Органорозчинні полімери			
IFR5	Стирол-акрилат (Omnova Solutions, США)	Ньютонівський Pliolite AC80	AC80
IFR6	Стирол-акрилат (Omnova Solutions, США)	Ньютонівський Pliolite AC80 + Неньютонівський Pliolite AC4	AC80+ AC4
IFR7	Вінілхлорид-вінілацетат-вініловий спирт (Dow UCAR, США)	VAGH	VAGH
IFR8	Вінілхлорид-вінілацетат (Dow UCAR, США)	VYHH	VYHH

За отриманими результатами (рис. 1) досліджені полімери поділяються на три групи, що відрізняються перебігом процесу спучення, а відповідно й фізичними характеристиками побудованих вуглецевих шарів:

- негалогеновані вінілацетатні співполімери, що утворюють IFR1 та IFR2: Згідно із утворенням та набуханням вуглецевого каркасу (К, рис.1) основні хімічні процеси в IFR1 та IFR2 починаються після 350 °С та перебігають в інтервалі температур 350–650 °С. Покриття IFR1 та IFR2 характеризуються тривалою стабілізаційною ділянкою сталості коефіцієнта спучення К (інтервал 350–650 °С, рис. 1);

галогеновані вінілацетатні співполімери, що містяться в композиціях IFR3, IFR7, IFR8: Ці покриття характеризуються більш раннім (< 300 °С) та стрімким спученням (К, рис. 1) зі короткочасною стабілізацією К в інтервалі 350–500 °С. Спостерігається посилене виділення оцтової кислоти за рахунок кислотного каталізу з боку утвореного HCl, що провокує зниження температури розпаду полімеру, насичує коксовий шар леткими

речовинами, призводять до надмірного спучення і, як наслідок, передчасного руйнування вуглецевого каркасу;

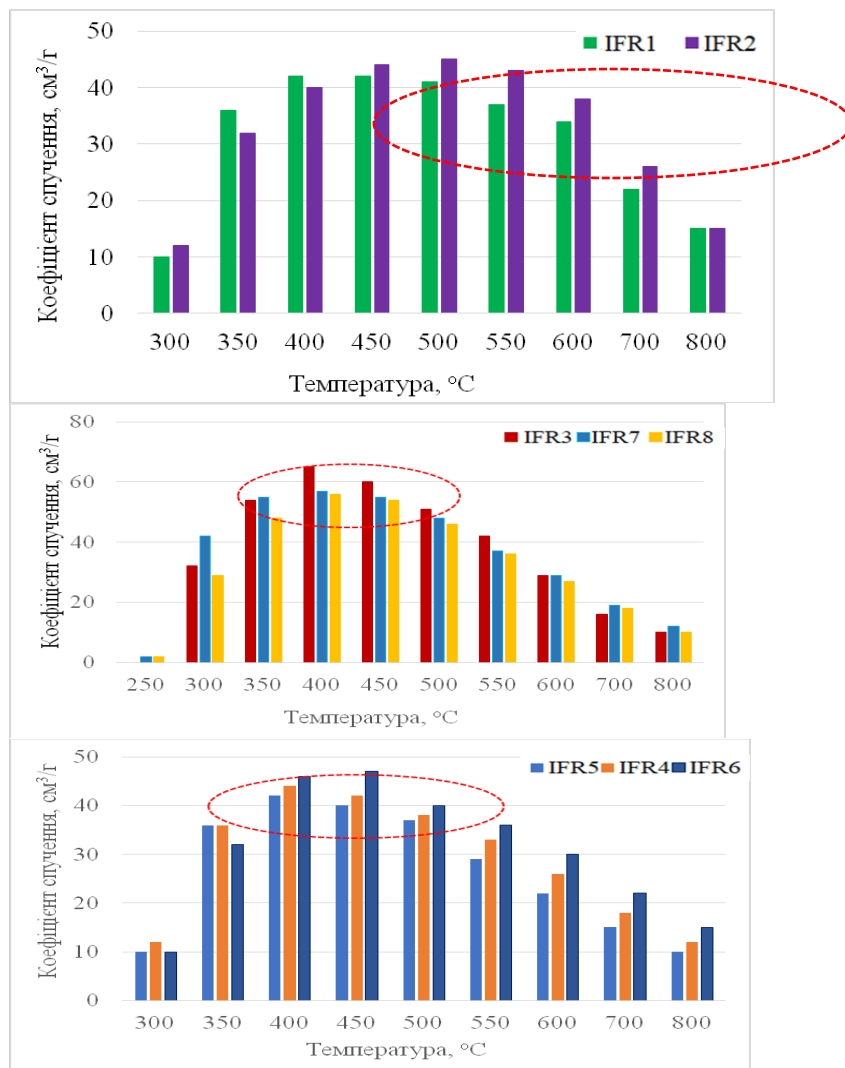


Рисунок 1 – Залежність коефіцієнта спучення K (cm^3/g) інтумесцентних композицій від температури T ($^\circ\text{C}$)

- - стиролакрилатні полімери в покриттях IFR4, IFR5, IFR6 також демонструють скорочення стабілізаційної ділянки коефіцієнта K до 500 $^\circ\text{C}$. Термодеструкція цих полімерів відбувається за один основний крок від 340 до 450 $^\circ\text{C}$ з одночасним відщепленням фрагментів акрилової кислоти, їх декарбоксілюванням та розщепленням ланцюга безпосередньо в летючі мономери.

Залежність коефіцієнта спучення K від температури (рис. 1) дозволяє позиціонувати негалогеновані вінілацетатні співполімери, як найкращий вибір полімерної складової для IFR з причини утворення стабільних вуглецевих шарів, які розкладаються при більш високих температурах, ніж

інші досліджені IFR. В структурах коксового спученого шару вивчених композицій спостерігаються суттєві відмінності. При використанні в IFR негалогенованих вінілацетатних співполімерів фіксується регулярний, щільний і дрібнопористий каркас. IFR, які містять стиролакрилатні полімери H211 та AC80, в свою чергу, формують більш легкі каркаси пористої структури, які є нестабільними після 600 °С. Коксові шари IFR з галогенованими вінілацетатними співполімерами характеризуються найбільшими коефіцієнтами спучення, але мають рихлу структуру з великими порожнинами.

Різниця у вогнестійкості досліджуваних інтумесцентних покриттів зумовлена особливостями механізмів термічної деградації використаних співполімерів. Аналіз ІЧ-спектрів композицій IFR1 (з вінілацетатним полімером EZ 3010) та IFR5 (зі стиролакрилатним полімером AC80) після термообробки в інтервалі 350–700 °С дозволив визначити основні хімічні перетворення, що відбуваються під час нагрівання. У температурному діапазоні 350–450 °С в ІЧ-спектрах спостерігаються смуги, характерні для валентних коливань груп P=O (1245 см⁻¹) та P–O–C (1090–1000 см⁻¹), а також сигнали, пов'язані з утворенням зв'язків P–N (1020–1000 см⁻¹). Це свідчить про перебіг процесів етерифікації пентаеритриту поліфосфорною кислотою та амінолізу її фрагментів мелаїном або його похідними. Встановлено, що смуга карбонільної групи вінілацетатного полімеру EZ 3010 (1734 см⁻¹) зникає лише при 600 °С, тоді як для стиролакрилатного полімеру AC80 вона відсутня вже при 450 °С. Отже, у системі IFR5 термохімічні перетворення відбуваються за нижчих температур, а коксовий залишок при 700 °С характеризується більшою мірою окиснення та деградації.

Таким чином, досліджено вплив структури вінілацетатних та стирол-акрилатних полімерів на вогнезахисну ефективність інтумесцентних систем, що містять поліфосфат амонію, мелаїн і пентаеритрит. Встановлено, що для створення покриттів реактивного типу з високою вогнестійкістю доцільно використовувати водні дисперсії полімерів вінілацетатного типу, зокрема вінілацетат-етилен та вінілацетат-етилен-вінілверсатат. Дослідження також показало, що для підвищення вогнезахисної ефективності стиролакрилатних органорозчинних композицій доцільно застосовувати комбінацію ньютонівських та неньютонівських полімерів.

1. Вогнезахисна ефективність епоксидного покриття інтумесцентного типу /Л.М. Вахітова, Н.А. Таран, К.В. Калафат, В.І. Бессарабов, В.І. Шологон, С.П. Придятько// Вісті Донецького гірничого інституту. 2021. №1 (48). С. 143–153.

ПРОЄКТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ЛІНІЇ ВИРОБНИЦТВА ЕМУЛЬСІЙНОГО КОСМЕТИЧНОГО КРЕМУ З ПРИНЦИПАМИ «ЗЕЛЕНОЇ» ХІМІЇ

Пархомук П.А., Косіцина О.С.

*Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара,
просп. Науки, 72, 49045, м. Дніпро, Україна*

Сучасна косметична індустрія перебуває на етапі глобальної трансформації, де пріоритетом стає не лише ефективність кінцевого продукту, а й його екологічний слід. Проектування технологічних ліній для виробництва складних емульсійних систем вимагає інтеграції принципів «зеленої» хімії з передовими інженерними рішеннями. Емульсії, будучи термодинамічно нестабільними системами, потребують прецизійного підходу до вибору методів стабілізації.

Традиційні підходи часто базуються на надмірному використанні синтетичних стабілізаторів та оклюзійних агентів (вазелін, парафіни), які можуть негативно впливати на природний газообмін шкіри.

Особливої уваги заслуговує проблема накопичення циклічних силіконів, таких як циклопентасилоксан (D5), у навколишньому середовищі, що призводить до жорсткого регулювання їх використання в країнах ЄС. Відтак, актуальним є розробка ліній, що забезпечують стабільність продукту через високий ступінь механічної дисперсності фаз.

Аналіз рецептурних обмежень та системних альтернатив

Під час проектування було проведено детальний скринінг інгредієнтів на відповідність критеріям біорозкладності та дерматологічної сумісності. Аналіз патентної документації виявив необхідність мінімізації кумулятивних негативних впливів:

- замість легких силіконів пропонується використання рослинних алканів або легких ефірів олій, що мають подібні характеристики, але є повністю біорозкладними.

- ПЕГ-сполуки замінюються на глюкозидні емульгатори або ефіри цукрів, що забезпечують формування рідкокристалічної структури емульсії.

- впровадження пропандіолу та біо-бутиленгліколю, отриманих шляхом ферментації рослинної сировини, замість продуктів нафтохімії.

Технологічна схема проектується як багатофункціональний комплекс, що відповідає стандартам GMP (Good Manufacturing Practice). Основною метою є досягнення розміру часток внутрішньої фази $d < 2$ мкм, що гарантує високу седиментаційну та коалесцентну стійкість.

XXIV Всеукраїнська конференція молодих вчених та студентів з актуальних питань сучасної хімії, Дніпро, 18-21 травня 2026 р.

Система реакторних блоків. Підготовка фаз розділена на два незалежні контури. Реактор для водної фази оснащується якірною мішалкою та сорочкою для нагрівання. Реактор для олійної фази (плавильний котел) забезпечує гомогенне розплавлення твердих восків при температурах до 85°C.

Вакуумний гомогенізуючий комплекс. Ключовий апарат лінії. Процес емульгування під вакуумом забезпечує: деаерацію маси, що виключає процеси окиснення активних інгредієнтів; отримання глянцевої текстури та високої щільності крему; Зменшення ризику мікробіологічного забруднення під час обробки.

Таблиця 1. Основне технологічне обладнання лінії виробництва косметичних емульсій та його функції

Тип апарату	Технічні характеристики та функції	Критичні параметри контролю
Реактор-плавильник	Плавлення ліпідної фази, змішування ефірів	Температура, швидкість мішалки
Вакуумний емульсатор	Створення високих зсувних зусиль, емульгування	Рівень вакууму, швидкість РПА
Роторно-пульсаційний апарат (РПА)	Подрібнення часток до мікронного рівня	Зазор між статором і ротором
Пластинчастий охолоджувач	Швидке та контрольоване зниження температури	Швидкість потоку холодоагенту

Особливу складність при проектуванні становить етап охолодження. Велика частина біологічно активних речовин (наприклад, алантоїн, вітамінні комплекси) є термолабільними. Введення цих компонентів повинно відбуватися суворо в діапазоні 35-40°C після завершення основного циклу гомогенізації. Для цього лінія оснащується автоматизованою системою дозування в потоці або через буферну ємність із контрольованим перемішуванням. Також необхідно враховувати реологічні зміни продукту: при охолодженні в'язкість емульсії зростає, що вимагає використання насосів об'ємного типу (гвинтових або кулачкових) для подачі крему на фасування без руйнування його структури. Проектування цеху включає розрахунок систем вентиляції з урахуванням гранично допустимих концентрацій (ГДК) летких органічних сполук. Оскільки деякі ароматизатори та консерванти можуть викликати контактний дерматит у персоналу при високих концентраціях,

передбачається повна автоматизація процесів завантаження сировини. Система СІР (Clean-in-Place) забезпечує автоматичне миття та стерилізацію лінії без необхідності розбирання апаратів, що мінімізує людський фактор та гарантує мікробіологічну чистоту продукту.

Висновки

Запропонований проєкт технологічної лінії базується на синергії механічних методів стабілізації та принципів екологічної безпеки. Використання вакуумного гомогенізуючого обладнання дозволяє створювати стабільні косметичні засоби з мінімальним вмістом синтетичних емульгаторів та повною відсутністю екологічно небезпечних силіконів. Такий підхід не лише підвищує якість кінцевого продукту, а й забезпечує його конкурентоспроможність на сучасному ринку еко-косметики.

Література:

1. Sasounian Rafaela, Martinez Renata, Lopes André, Giarolla Jeanine, Rosado Catarina, Magalhães Wagner, Velasco Maria, Baby André. Innovative Approaches to an Eco-Friendly Cosmetic Industry: A Review of Sustainable Ingredients. Clean Technologies. 2024, Vol. 6. P. 176-198. [10.3390/cleantech6010011](https://doi.org/10.3390/cleantech6010011).

2. Промислова технологія лікарських засобів: базовий підручник для студ. вищ. навч.закладу (фармац. ф-тів) / Є. В. Гладух, О. А. Рубан, І. В. Сайко [та ін.]; за ред. Є.В. Гладуха, В.І. Чуєшова. Вид. 2-ге, випр. та доп. Х.: НФаУ: Новий світ-2000, 2018. 486 с. <http://dspace.nuph.edu.ua/handle/123456789/28663>

3. Технологічне обладнання біотехнологічної і фармацевтичної промисловості: підручник / Стасевич М.В., Милянч А.О., Стрельчиков Л.С., Крутьких Т.В., Бучкевич І.Р., Зайцев О.І. [та ін.]. Львів: Новий Світ-2000, 2018. 410 с. https://pdf.lib.vntu.edu.ua/books/2019/Stasevich_2018_410.pdf

4. Настанова СТ-Н МОЗУ 42-4.0:2020. Лікарські засоби. Належна виробнича практика (GMP). Київ : Міністерство охорони здоров'я України, 2020.

https://www.dls.gov.ua/wp-content/uploads/2020/05/%D0%9D%D0%B0%D1%81%D1%82%D0%B0%D0%BD%D0%BE%D0%B2%D0%B0-%D0%A1%D0%A2-%D0%9D-%D0%9C%D0%9E%D0%97%D0%A3-42-4.0_2020.pdf

5. Regulation (EC) No 1223/2009 of the European Parliament and of the Council of 30 November 2009 on cosmetic products. https://health.ec.europa.eu/system/files/2016-11/cosmetic_1223_2009_regulation_en_0.pdf

ФОРМУВАННЯ ТЛІЮЧОГО РОЗРЯДУ НАД РІДКИМ КАТОДОМ З РОЗЧИНУ МАГНІЙ ХЛОРИДУ

Кучук М.С., Ващенко Л.В, Светіков О.О., Погорелов Ю.М. Кравченко О.В.
Дніпровський державний технічний університет, вул. Дніпростроївська, 2,
Кам'янське, Дніпропетровської області, 51918; Інститут геотехнічної
механіки НАН України, 49005, м. Дніпро, вул. Сімферопольська, 2а

Найбільш сучасним і дуже перспективним методом отримання водню є процес з використанням тліючого розряду [1]. Застосовують плазмохімічні процеси для виробництва й інших продуктів органічного і неорганічного синтезу. Найчастіше це тліючий розряд з рідким катодом (ТРПК).

Проведено дослідження формування такого розряду. Проводили його у герметичному плазмохімічному реакторі, що складався зі скляного циліндру, аноду з вольфрамового стрижня діаметром 2,0 мм, і зануреного у розчин титанового катоду. Торцева частина аноду була плоска і нерівна. У реактор заливали розчин магній хлориду вмістом $80 \text{ г/дм}^3 \text{ MgCl}_2$. Відстань між анодом і рідиною встановлювали переміщенням аноду, міжелектродний проміжок змінювали від 1 до 10 мм. Анод і катод підключали до джерела постійного току високої напруги, з вбудованими вольтметром і амперметром і з регулятором вихідної напруги. Реактор підключали до вакуум-насосу, тиск у реакторі вимірювали вакуумметром. Значення тиску (абсолютне) варіювали від 5 до 30 кПа.

При збільшенні напруги до певного значення загорявся тліючий розряд, це значення напруги пробую (НП) фіксували. Під час запалювання розряду напруга, що подавалась на реактор, різко зменшувалась, і через реактор починав проходити струм. Регулятором напруги джерела постійного току встановлювали значення струму, передбачене програмою експерименту. Напругу горіння, що відповідала цьому струму, і тиск фіксували. Здійснювали відеозапис процесу.

Таблиця 1. Залежність напруги пробую від міжелектродного проміжку

Проміжок d , см	Напруга пробую V_{np} , В	Параметр pd , Торр·см	$\ln(pd)$	$\ln V_{np}$
0,14	1500	10,50	2,35	7,31
0,18	1600	13,50	2,60	7,38
0,2	1800	15,00	2,71	7,50
0,2	1600	15,00	2,71	7,38
0,25	2000	18,75	2,93	7,60
0,26	1700	19,50	2,97	7,44
0,4	2200	30,00	3,40	7,70
0,41	3000	30,75	3,43	8,01

У дослідах, що проводились під тиском $p=10$ кПа (75 Торр), було встановлено зростання напруги пробою $V_{пр}$ зі збільшенням величини міжелектродного проміжку, результати наведені у табл. 1.

Згідно з сучасною теорією пробій газового діелектрика відбувається за двома можливими механізмами – таусендівському та стрімерному.

Таусендівський пробій відбувається в однорідному електричному полі внаслідок генерації серії лавин та накопичення просторового заряду. Як зазначено в джерелі [2], НП для такого механізму визначається рівнянням:

(1)

$$C = \ln A - \ln \ln(1/\gamma + 1) = \text{const} \quad (2)$$

де p – тиск, Торр;

d – міжелектродний проміжок, см;

A – емпіричний коефіцієнт, для повітря $15 \text{ Торр}^{-1} \cdot \text{см}^{-1}$ [2];

B – емпіричний коефіцієнт, для повітря $365 \text{ В} \cdot \text{Торр}^{-1} \cdot \text{см}^{-1}$ [2];

γ – коефіцієнт вторинної електронної емісії.

Тож НП залежить від добутку тиску та міжелектродного проміжку, а також від властивостей плазмоутворюючого газу.

Графічно рівняння (1) зображується кривою Пашена – у логарифмічній системі координат $\ln(pd) - \ln V_{пр}$. Значення $\ln V_{пр}$ зростає при збільшенні $\ln(pd)$, а найнижча точка близько до $\ln(pd)=0$ відповідає мінімальному значенню напруги пробою відповідного газу (НПМ).

Оскільки $pd \gg \ln(pd)$, а $C=\text{const}$, то збільшення $V_{пр}$ відбувається майже пропорційно зростанню параметра pd . Як видно з наведених у джерелі [2] кривих Пашена для різних газів, права її гілка, на певному віддаленні від НПМ, наближається до прямої лінії.

Плазмоутворюючим газом на початок експерименту є газова суміш, що складається з повітря та водяної пари, а під час процесу - суміш водню, повітря та водяної пари. Кількісний склад цієї суміші не є постійним і залежить від параметрів плазмохімічного процесу. Проте для чистих газів орієнтовні НПМ та відповідні параметри pd відомі [3,4]:

- НПМ повітря - 327-350 В, pd - 0,5-0,7 Торр·см;

- НПМ водяної пари - 480 В, pd - 0,6 Торр·см;

- НПМ водня - 295 В, pd - 0,85-1,15 Торр·см;

Мінімальна напруга пробою суміші не є величиною адитивною. І наявність водяних парів призводить до збільшення НПМ суттєво більшому, ніж їх вміст.

Тож можна очікувати, що НПМ для початкової експериментальної газової суміші буде в інтервалі 350-480 В, а відповідний параметр pd в інтервалі 0,6-0,7 Торр·см.

На рис. 1 наведена залежність $\ln V_{np}$ від $\ln(pd)$, коефіцієнт парної кореляції для неї склав $R^2=0,78$.

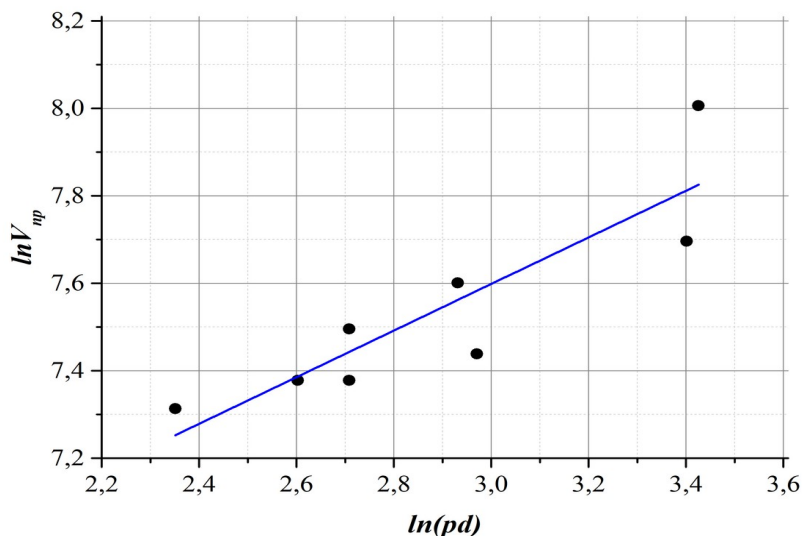


Рис. 1. Залежність $\ln V_{np}$ від $\ln(pd)$ під тиском 10 кПа

Рівняння регресії для цієї залежності

$$\ln V_{np} = 0,5329 \ln(pd) + 5,9997 \quad (3)$$

Для випадку, коли $pd = 1,0$ Торр·см

$$\ln V_{np} = 5,9997, V_{np} = 403 \text{ В.}$$

Така оцінка визначеної в експерименті НПМ відповідає зазначеному вище інтервалу НПМ для суміші повітря і водяної пари. Тож є доведеним, що для тліючого розряду з рідким катодом при низькому тиску пробій відбувається за таусендівським механізмом. Такий механізм не діє для ТРРК, що запалюються під атмосферним чи збільшеним тиском, коли параметр pd більше 200 Торр·см. Запалення тліючого розряду над ТРРК по стрімерному механізму описано в [5].

Важливим для розуміння особливостей горіння ТРРК є врахування його філаментарності [6]. Такий розряд існує не як одне ціле, а як сукупність філаментів - ниток плазми, що простягаються від катодної плями до області анодного свічення. Що і є причиною різноманіття проявів ТРРК при нестабільному його горінні.

ТРРК по суті є нерівноважним процесом, який зовні може виглядати як стабільний чи як нестабільний.

В проведених дослідженнях стабільний розряд мав вигляд конусу зі слабким свіченням, вершиною якого був анод, а основою на поверхні рідини ярко освітлене коло - катодна пляма. Свічення і конуса, і катодної плями стабільного розряду є рівномірними по площі і у часі. Центр катодної плями розташований на осевій лінії аноду, хоча й може

зміщуватися у напрямку руху рідини. У стабільного розряду відсутній суттєвий рух будь-якої його частини чи суттєва зміна кольору чи яскравості свічення. На рис. 2а наведено стоп-кадр з відео стабільного розряду.

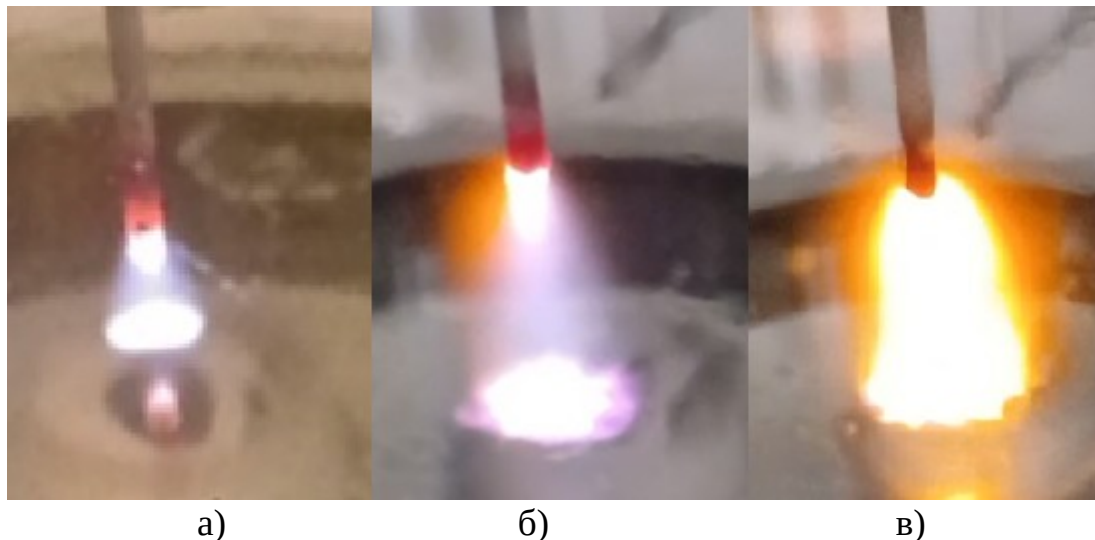


Рис. 2. Стоп-кадри з відео тліючих розрядів: а) – стабільний режим; б) – нестабільний режим; в) спалах

Нестабільність розряду проявлялась у постійній зміні (руху) форми і розмірів розряду, яскравості свічення й кольору катодної плями й позитивного стовпа. В експерименті спостерігали такі нестабільні режими:

- катодна пляма мала форму кола, але була мозаїчною - не мала рівномірного свічення, включала світлі й темні ділянки, які постійно змінювались, міняли одна одне;

- катодна пляма не мала форму кола, а постійно змінювалась - мала вигляд зірки, промені якої періодично виникали і гаснули; від центру катодної плями вздовж поверхні рідини відбувалися викиди потоків плазми; від катодної плями вилітали іскри, схожі на бенгальський вогонь, але поодинокі; відбувався рух по колу навколо центру катодної плями кількох ярко освітлених областей тощо;

- позитивний стовп мав іншу форму, ніж конічна, чи постійно змінював форму; мав яскраве свічення чи флуктації свічення; інколи у ньому відбувалися спалахи. Які інколи призводили до погашення розряду.

На рис. 2б наведено стоп-кадр з відео нестабільного розряду (змінялася форма катодної плями і свічення катодної плями, змінялася форма и було наявне нерівномірне свічення позитивного стовпа), а на рис. 2в – стоп-кадр моменту спалаху у цьому ж розряді.

Прояви нестабільності і позитивного стовпа, і катодної плями були різноманітними, по різному поєднувались. В одному з дослідів спостерігали, як після запалення розряд був нестабільним, потім ставав

стабільним, ще через час знову був нестабільним. І параметри досліду при цьому не змінювались. Тож зробити висновки, коли розряд обов'язково буде стабільним чи нестабільним, проведене дослідження не дозволяє. Але можливо прогнозувати ймовірність того чи іншого режиму.

Збільшення міжелектродного проміжку є фактором нестабільності розряду. В умовах експерименту при проміжку 10 мм і більше розряд в усіх випадках був нестабільним. І навпаки, за міжелектродного проміжку 1-3 мм під тиском 10-15 кПа можна очікувати стабільного розряду з високою ймовірністю.

Збільшення тиску в реакторі підвищувало вірогідність нестабільного розряду. А під тиском більше 30 кПа на протязі невеликого часу мимоволі відбувалось його погашення. Зі збільшенням струму ймовірність нестабільного режиму зростала. При цьому треба враховувати, що для типового тліючого розряду, на відміну від нетипового, збільшення сили струму не призводить до збільшення щільності струму на катодній плямі. Стабільний режим ТРРК більш вірогідний, якщо стрижневий анод є заточеним. Нестабільності режиму сприяє нерівність плоского торця аноду. Для технологічних процесів з ТРРК стабільний режим є бажаним, оскільки забезпечується постійність енергетичних і матеріальних потоків.

Висновки.

1. Для тліючого розряду з рідким катодом напруга пробою збільшується зі зростанням тиску та міжелектродного зазору, при низькому тиску пробій відбувається за таусендівським механізмом.

2. Стабільному режиму тліючого розряду з рідким катодом сприяє зниження тиску, зменшення міжелектродного зазору і використання загостреного стрижневого аноду.

Посилання:

1. Sergii Bespalko (2014). Recent Advances in Hydrogen Generation by Contact Glow Discharge Electrolysis: Review. *Journal of International Scientific Publications: Materials, Methods and Technologies*. V. 8, pp. 355-363. Published at: <http://www.scientific-publications.net/en/article/1000183/>.
2. Fridman, (2008). A. Plasma chemistry. Cambridge University Press. P.158.
3. Karel Burm (2007). Calculation of the Townsend Discharge. Coefficients and the Paschen Curve Coefficients. *Contributions to Plasma Physics* 47(3):177 - 182. DOI: 10.1002/ctpp.200710025.
4. N Škoro (2012). Breakdown and discharge regimes in standard and micrometer size dc discharges. *J. Phys.: Conf. Ser.* 399, 012017. DOI: 10.1088/1742-6596/399/1/012017
5. Сергєєва О. В. (2014) Дослідження процесу підпалу газового розряду в системі газ - рідина. *Технологічний аудит та резерви виробництва* - № 6/5(20), DOI: 10.15587/2312-8372.2014.32231
6. Bruggeman P., Leys C., Liu J., Kong M.G., Degroote J., Vierendeels J. (2008). Electrical breakdown in metal pin–water electrode system. *IEEE Transactions on Plasma Science*, 36, 1138-1139. DOI: 10.1109/TPS.2008.917294

**ДОСЛІДЖЕННЯ СОРБЦІЙНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ
ПОЛІВІНІЛПІРОЛІДОНВІСНИХ ГІДРОГЕЛІВ,
МОДИФІКОВАНИХ ПОЛІАМІДОМ**

Гриценко Т. О., Цюпка Ю. Ю.

*Національний університет «Львівська політехніка»,
м. Львів, вул. Степана Бандери, 12*

Причиною широкого та різноманітного використання полімерних гідрогелів є їх унікальна пориста структура у поєднанні з присутністю гідрофільних функційних груп, які забезпечують набрякання полімерної матриці у воді і інших полярних розчинниках, що обумовлює високу проникність для розчинених низькомолекулярних речовин. Серед широкого кола гідрофільних полімерів перспективними є кополімери на основі 2-гідроксіетилметакрилату (ГЕМА) з полівінілпіролідом (ПВП). Гідрогелі на основі просторовозшитих прищеплених кополімерів ГЕМА з ПВП (пГЕМА-пр-ПВП) привертають увагу еластичністю, пружністю, достатньою пористістю, високою хімічною та біологічною інертністю, антитромбогенністю, що забезпечує можливість їх використання, як матеріалів для біомедичних застосувань [1, 2]. Однак недоліком, який обмежує використання одержаних гідрогелів, є недостатні їх міцнісні характеристики. Одним із перспективних напрямів підвищення міцності гідрогелевих матеріалів є поверхневе або об'ємне модифікування [3, 4].

В даній роботі нами запропоновано метод одержання композиційних гідрогелів на основі пГЕМА-пр-ПВП кополімерів модифікуванням поліамідом-6 (ПА-6) в об'ємі під час кополімеризації ГЕМА з ПВП під дією FeSO_4 . Передумовою здійснення розробленого методу є висока реакційна здатність ГЕМА/ПВП композицій в присутності іонів металів змінного ступеня окиснення, можливість здійснення полімеризації у розчинниках з досягненням високої пористості полімерної матриці. ПА-6 вводили до вихідної полімер-мономерної композиції ГЕМА/ПВП (ПМК) у вигляді розчину суміші ПА-6/ПВП у мурашиній кислоті. Доведено, що між ПА а ПВП формується інтерполімерний комплекс (ІПК). Встановлено, що введення ПА-6, який у складі ІПК з ПВП формує додаткові фізичні вузли сітки за рахунок водневих зв'язків, дозволяє цілеспрямовано впливати на структуру полімерної матриці і одержувати гідрогелі з підвищеною міцністю. Водночас, серед характеристик, які визначають придатність гідрогельних матеріалів до експлуатації, крім міцнісних характеристик,

важливу роль відіграє здатність до набрякання у розчинниках (зокрема у воді). У зв'язку з цим, актуальним є дослідження впливу складу ПМК та співвідношення компонентів ІПК (поліамід : полівінілпіролідон) на сорбційні властивості модифікованих ПА/пГЕМА-пр-ПВП гідрогелів.

Здатність до набрякання оцінювали за показником граничного водопоглинання (W , %). В попередніх роботах [1, 2] встановлено, що зі збільшенням частки ПВП у ПМК спостерігається підвищення водовмісту. Це пояснюється, з одного боку, зростанням гідрофільності полімерної сітки внаслідок включення хімічно зв'язаних ланцюгів ПВП, а з іншого – збільшенням вільного об'єму між макромолекулами, що є наслідком часткового вимивання непрореагованого ПВП [1, 2]. Водночас, введення ПА-6 до структури пГЕМА-пр-ПВП кополімерів, викликає погіршення їх здатності поглинати вологу (рис. 1). Встановлено, що характер зміни водовмісту модифікованих гідрогелів із збільшенням вмісту ПВП у вихідній композиції відрізняється від немодифікованих кополімерів – найбільша інтенсивність зменшення водовмісту спостерігається для ПМК складу ГЕМА:КМ=70:30 мас.ч., найменша – для ПМК складу ГЕМА:КМ=90:10 мас.ч. (де КМ – комбінована матриця: ПВП+ІПК).

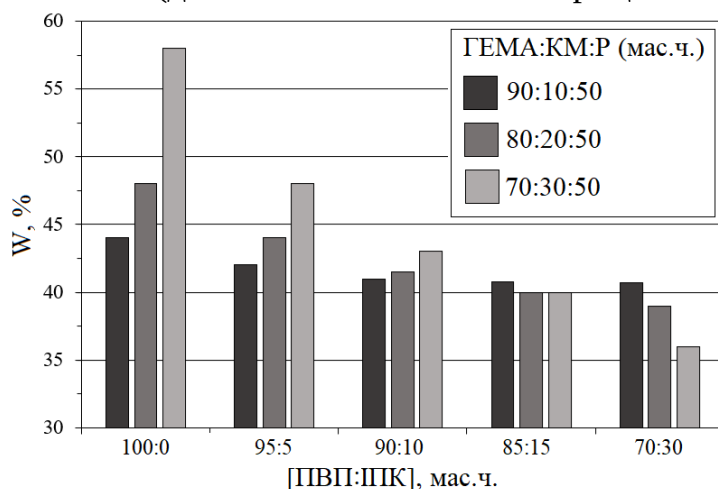


Рис.1. Вплив складу ПМК і КМ (співвідношення ПВП : ІПК) на водовміст модифікованих гідрогелевих плівок (ІПК : НСООН = 7:93 % мас., ІПК – 95(ПА-6) : 5 (ПВП) % мас.; $C_{\text{НСООН}} = 80$ мас.%; $M_{\text{ПВП}} = 12 \cdot 10^3$; $\delta = 0,5$ мм)

Очевидно, що головну роль у зменшенні водопоглинаючої здатності модифікованих пГЕМА-пр-ПВП кополімерів відіграє присутність у їх структурі ПА-6 і утворення інтерполімерного комплексу ПА-6 з ПВП. Насамперед, це формування додаткових фізичних вузлів полімерної сітки – поліамід здатний утворювати водневі зв'язки з ПВП та ГЕМА. Додаткова

фізична сітка підвищує густоту зшивання, зменшує рухливість молекулярних ланцюгів. У гідрогелях водневі зв'язки можуть покращувати когезію, діючи як зшиваючі домени [5]. Під час утворення ІПК між ПВП та ПА-6 відбувається «блокування» гідрофільних центрів ПВП. Якщо у випадку немодифікованого кополімеру ПВП активно гідратується, то з додаванням ПА частина гідрофільних центрів ПВП входять до ІПК і є недоступною для води. Як наслідок – відбувається зменшення кількості центрів сорбції води. Слід також враховувати ще той чинник, що введення гідрофобних фрагментів поліаміду (гідрофобні метиленові сегменти) в структуру гідрогелю також знижує загальну гідрофільність модифікованих кополімерів.

Оскільки гідрогелі експлуатуються переважно у набряклому стані, то, відповідно, необхідно знати час досягнення матеріалом рівноважного набрякання. На рис. 2. представлені криві кінетики зміни ступеня набрякання ПА/пГЕМА-пр-ПВП кополімерів залежно від співвідношення ПВП:ІПК (а) та ГЕМА:КМ (б). Для порівняння впливу присутності ПА-6 на кінетику набрякання обрано ПМК з найбільшим вмістом ПВП (рис. 2, а) та склад ІПК з найбільшим вмістом ПА-6 (рис. 2, б), оскільки такі системи найбільш яскраво презентують вплив ПА-6 на сорбційну здатність модифікованих кополімерів.

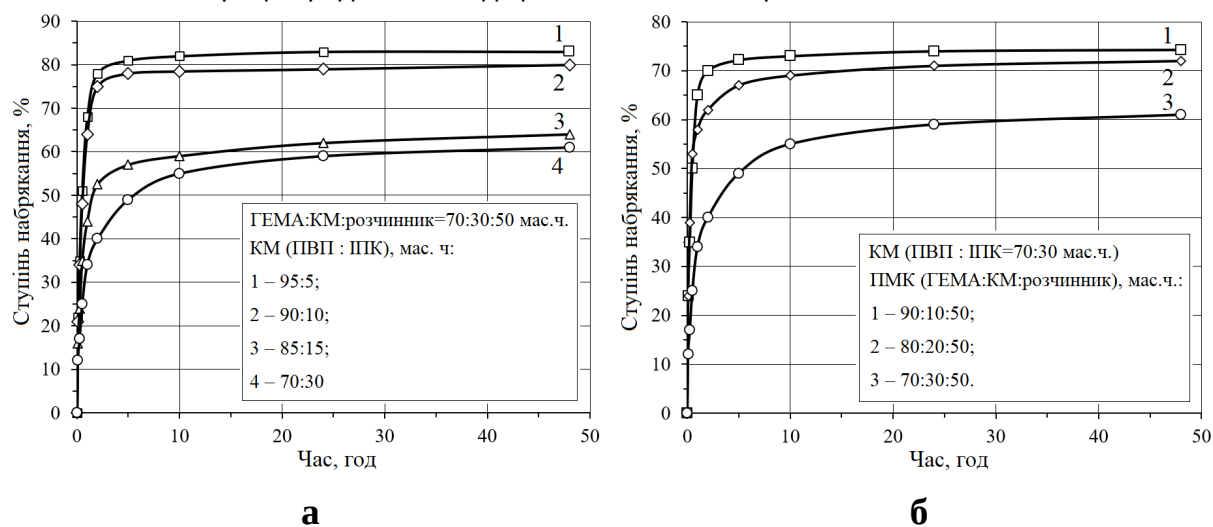


Рис. 2. Вплив вмісту КМ (а) та складу ПМК (б) на кінетику набрякання ПА/пГЕМА-пр-ПВП кополімерів (ІПК : НСООН = 7:93 % мас., ІПК – 95(ПА-6) : 5 (ПВП) % мас.; $C_{\text{НСООН}} = 80$ мас.%; $M_{\text{ПВП}} = 12 \cdot 10^3$; $\delta = 0,5$ мм)

Введення ПА-6 у вигляді інтерполімерного комплексу ПА-6/ПВП призводить до суттєвої зміни кінетики набрякання гідрогелів на основі пГЕМА-пр-ПВП кополімерів (рис. 2,а). Зокрема, спостерігається зменшення швидкості сорбції води із зростанням вмісту ПА-6 у гідрогелі, що зумовлено підвищенням ефективної густоти зшивання та зниженням

вільного об'єму полімерної сітки. Як видно з представлених кінетичних залежностей, склад вихідної композиції ГЕМА:КМ істотно впливає як на швидкість набрякання, так і на механізм масоперенесення води в об'ємі гідрогелю (Рис. 2,б). Для системи з максимальним вмістом ПВП (ГЕМА:КМ=70:30 мас.ч.) спостерігається найменша швидкість набрякання. Початкова ділянка кривої характеризується незначним нахилом, що свідчить про утруднене проникнення води у полімерну сітку. Така поведінка обумовлена високою концентрацією інтерполімерного комплексу ПА-6/ПВП. У результаті зростає ефективна густина зшивання та зменшується рухливість макроланцюгів, що обмежує як дифузію води, так і релаксацію полімерної структури. Для системи з мінімальним вмістом ПВП (ГЕМА:КМ = 90:10 мас.ч.) характерне набрякання з найбільшою швидкістю. Кінетична крива має крутий початковий підйом, що пояснюється незначною кількістю ІПК, внаслідок чого структура полімерної сітки є менш обмеженою, з більшим вільним об'ємом та більшою рухливістю макроланцюгів. Отримані результати узгоджуються з уявленнями про формування додаткової фізичної сітки внаслідок утворення інтерполімерного комплексу ПА-6/ПВП, який визначає як рівноважні, так і кінетичні характеристики одержаних гідрогелів.

Таким чином, встановлено, що збільшення вмісту ПВП підвищує водовміст гідрогелів за рахунок зростання гідрофільності та вільного об'єму, тоді як введення поліаміду у складі ІПК ПА-6/ПВП знижує водопоглинальну здатність внаслідок формування додаткових фізичних вузлів сітки, блокування гідрофільних центрів ПВП і зменшення пористості. Показано, що присутність ПА-6 також уповільнює кінетику набрякання, причому найбільш виражений ефект спостерігається для систем із високим вмістом ПВП і поліаміду, де інтенсивність утворення інтерполімерного комплексу є максимальною.

ПРОГРЕС ЕЛЕКТРОХІМІЧНОГО СИНТЕЗУ НІТРАТНОЇ КИСЛОТИ: ДИЗАЙН КАТАЛІЗАТОРІВ, МЕХАНІЗМИ ТА ВИКЛИКИ

Чорновол О. С.

*Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара
49045, м. Дніпро, проспект Науки, 72*

Сучасна хімічна промисловість значно залежить від виробництва азотовмісних сполук. Серед яких азотна кислота займає важливе місце як сировина для синтезу мінеральних добрив, вибухових речовин, полімерів. Технології отримання базуються на поєднанні двох методів: синтезу аміаку за методом Габера-Боша та окиснення аміаку в процесі Оствальда.

Методи характеризуються високими енергетичними витратами, підвищеними температурами та значними викидами парникових газів. Якщо урахувати кліматичні виклики та значне навантаження на біогеохімічний цикл азоту, пошук альтернативних, більш екологічно безпечних шляхів синтезу азотної кислоти є досить актуальним [1,2]. Найбільш перспективним напрямом у цій сфері є електрохімічне окиснення молекулярного азоту (NOR), що дозволяє здійснювати пряме перетворення N_2 у нітрат-іони за стандартних умов. Такий підхід забезпечує можливість використання відновлюваних джерел енергії, зменшення вуглецевого сліду та децентралізацію виробництва. Електрохімічні методи можуть працювати при кімнатній температурі та атмосферному тиску і саме це дає нові перспективи для розвитку хімічної галузі [3,4]. Порівняння традиційних та перспективних методів наведено на рис. 1. Практична реалізація електрохімічного синтезу сполук шляхом окиснення азоту ускладнена певними факторами. Однією з проблем є висока стабільність молекули N_2 , яка обумовлюється наявністю потрійного зв'язку $N\equiv N$ з енергією 941 кДж/моль.

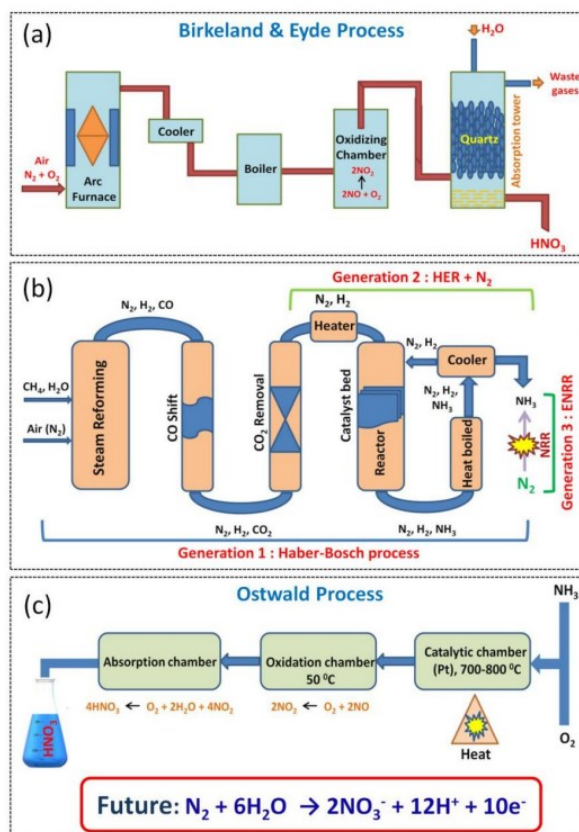


Рисунок 1: Різні типи процесів синтезу азотної кислоти, (а) процес Біркеланда та Ейде, (б) Процес синтезу аміаку (сировини для синтезу азотної кислоти), (с) процес Оствальда [1].

Це робить процес активації азоту термодинамічно і кінетично несприятливим. У водних електролітах конкуруючими є побічні реакції, такі як реакція виділення кисню, яка має низький бар'єр і знижує селективність утворенню нітратів [4]. Важливу роль у підвищенні ефективності процесу відіграє розробка ефективних електрокаталізаторів. Сучасні дослідження сконцентровані саме на використанні матеріалів на основі перехідних металів, завдяки наявності в них вільних d-орбіталей, вони здатні забезпечити ефективну адсорбцію та активацію молекули азоту. До таких належать Ru, Fe, Pd, а також їх оксиди та сполуки з

вуглецем. Увагу приділяють наноструктурованим матеріалам, які мають велику площу поверхні та високі кількості активних центрів [3].

Активно досліджують каталізатори без наявності металів, зокрема на основі: бору, вуглецю та азоту. Борвмісні матеріали мають електронодефіцитну природу, що сприяє активації молекули азоту саме за рахунок утворення донорно-акцепторних зв'язків. Такі каталізатори демонструють високу селективність та стабільність [6,7]. Механізм електрохімічного окиснення азоту багатостадійний і включає утворення проміжних адсорбованих частинок наприклад, таких як: $-N_2$, $-N_2OH$, $-NO$, $-NO_2$. Реакційний шлях змінюється від природи каталізатора, та умов середовища. У розумінні механізмів реакції та оптимізації складу каталізаторів відіграють роль теоретичні розрахунки, а саме методи квантової хімії та DFT [3,4]. Ефективність процесу залежить від параметрів електрохімічної системи, склад електроліту, рН середовища, температуру та тиск. Збільшення розчинності азоту в електроліті може спричинити підвищення швидкості реакції, але у водних системах розчинність є досить низькою і обмежує продуктивність процесу. Тому досліджуються альтернативні підходи, наприклад використання іонних рідин та газодифузійних електродів [4].

Використовують широкий спектр аналітичних методів для підтвердження утворенню нітратів і виключення можливих забруднень. Одним з найбільш поширених методів є УФ-видима спектроскопія, іонна хроматографія, мас-спектрометрія та метод ізотропного мічення з використанням $^{15}N_2$. Метод ізотропного мічення з використанням $^{15}N_2$ дозволяє достовірно визначити джерело азоту в продукті реакції, що є важливим для ефективності каталізатора [3].

Незважаючи на розвиток у цій галузі, технологія електрохімічного окиснення азоту перебуває на стадії фундаментального дослідження.

Основними проблемами є низька селективність, невисока швидкість реакцій, деградація каталізатора і складність в масштабуванні процесу. Також потрібно враховувати економічні аспекти, включати вартість матеріалу та енергетичні затрати [4]. Перспективи розвитку цього напрямку на пряму пов'язані з розробкою нових високоефективних каталізаторів, оптимізацією електрохімічних систем та інтеграцією процесу з відновлюваними джерелами енергії. Поєднання експериментальних досліджень і теоретичного моделювання дозволяє глибше розуміти механізми реакцій та підвищувати ефективність процесу.

Електрохімічний синтез азотної кислоти є одним з перспективних альтернатив традиційних промислових методів, який дозволяє знизити енергоспоживання та негативний вплив на навколишнє середовище. Розвиток каталізаторів, удосконалення механізмів активації, оптимізації умов процесу відкривають нові можливості для розвитку та впровадженню цієї технології у сучасну хімічну промисловість [3,4].

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Galloway J. N., Dentener F. J., Capone D. G. et al. Nitrogen cycles: past, present, and future // *Biogeochemistry*. – 2004. – Vol. 70. – P. 153–226. <http://dx.doi.org/10.1007/s10533-004-0370-0>
2. Fowler D., Coyle M., Skiba U. et al. The global nitrogen cycle in the twenty-first century // *Philos. Trans. R. Soc. B*. – 2013. – Vol. 368. <http://dx.doi.org/10.1098/rstb.2013.0164>
3. Medford A. J., Hatzell M. C. Photon-driven nitrogen fixation: current progress, thermodynamic and kinetic considerations // *ACS Catalysis*. – 2017. – Vol. 7. – P. 2624–2643. <http://dx.doi.org/10.1021/acscatal.7b00439>
4. Rouwenhorst K. H. R., Jardali F., Bogaerts A., Lefferts L. From nitrogen to ammonia and back: a review of catalytic processes // *Energy Environ. Sci.* – 2021. – Vol. 14. – P. 2520–2534. <http://dx.doi.org/10.1039/d0ee02263b>

ГЕТЕРОФУНКЦІОНАЛЬНІ ПОЛІМЕРИ З НИЖНЬОЮ КРИТИЧНОЮ ТЕМПЕРАТУРОЮ РОЗЧИНЕННЯ

Мельник В. Ю., Стецишин Ю. Б.

Національний університет «Львівська політехніка», Львів, Україна

Полімерні системи з критичною температурою розчинення (КТР) становлять перспективний клас матеріалів, здатних змінювати свою розчинність у вузькому температурному інтервалі. Розрізняють нижню (НКТР) та верхню (ВКТР) критичні температури розчинення, що відповідають переходам «розчинний-нерозчинний» або «нерозчинний-розчинний» стан. Гетерофункціональні кополімери демонструють термочутливість завдяки конкуренції гідрофільних і гідрофобних взаємодій, а також перебудові водневих зв'язків у системі полімер–вода.

У роботі проаналізовано вплив хімічного складу, співвідношення мономерних ланок і природи функціональних груп на термочутливу поведінку кополімерів. Запропоновано класифікацію гетерофункціональних полімерів за механізмом регулювання КТР, яка включає: (i) системи зі змінною НКТР або ВКТР залежно від складу; (ii) полімери з посиленою кооперативністю фазового переходу; (iii) рН-чутливі системи з керованою КТР; (iv) системи з можливістю інверсії НКТР/ВКТР; (v) полімери, що проявляють термочутливість, хоча складаються з мономерів, гомополімери яких не проявляють температурочутливих властивостей.

Показано, що у випадку кополімерів, утворених із двох термочутливих компонентів, значення НКТР визначається їх співвідношенням і наближається до значень відповідних гомополімерів. Так, для блок-кополімеру полі(*N*-ізопропілакриламід)-блок-полі(*N*-вінілізобутирамід) його НКТР становить $\sim 36,9$ °C і лежить між значеннями для полі(*N*-ізопропілакриламід) (~ 32 °C) та полі(*N*-вінілізобутирамід) – (~ 39 °C) [1]. Перехід супроводжується поетапною дегідратацією макромолекул і формуванням агрегатів різного розміру.

Для статистичних кополімерів, зокрема кополімеру *N*-ізопропілакриламід з *N*-ізопропілметакриламідом встановлено лінійну залежність НКТР від складу мономерних одиниць у полімерній макромолекулі (від 32,8 до 46,8 °C), що відкриває можливість її точного налаштування [2]. Аналогічно, у кополімері *N*-вінілкапролактаму з

метиловим етером діетиленгліколь метакрилату НКТР можна регулювати в інтервалі 26–35 °С шляхом зміни мольних часток компонентів [3].

Встановлено, що введення гідрофобних фрагментів у склад статистичного кополімеру переважно призводить до зниження НКТР за рахунок посилення міжланцюгових гідрофобних взаємодій. Зокрема, у кополімері *N*-ізопропілакриламід з *N*-трет-бутилакриламідом збільшення вмісту трет-бутильних груп дозволяє зменшити НКТР до значень, близьких до 0 °С [4]. Іншим цікавим прикладом є статистичний кополімер *N*-ізопропілакриламід та 2-гідроксиетилметакрилату [5]. У цьому кополімері *N*-ізопропілакриламід виступає термочутливим компонентом, тоді як 2-гідроксиетилметакрилат знижує НКТР системи. Для гомополімеру полі(*N*-ізопропілакриламід) НКТР становить 32,8 °С, включення 8 мол.% 2-гідроксиетилметакрилату приводить до зниження НКТР до 30,3 °С, а при зростанні його вмісту до 35 мол.% - до 17,0 °С. Такий ефект зумовлений особливостями міжмолекулярних взаємодій у системі. Амідні групи *N*-ізопропілакриламід здатні утворювати водневі зв'язки з молекулами води, які руйнуються при досягненні НКТР. Натомість гідроксильні групи 2-гідроксиетилметакрилату формують водневі зв'язки з амідними групами, що приводить до зменшення кількості водневих зв'язків у системі полімер-вода, підвищення гідрофобності кополімеру та, як наслідок, зниження НКТР.

Натомість введення у статистичний кополімер гідрофільних мономерів, таких як акриламід, акрилова кислота або *N*-вінілпіролідон, стабілізує гідратований стан полімеру і спричиняє зростання НКТР [4-8]. Наприклад, у кополімері *N*-ізопропілакриламід з акриламідом НКТР може зростати до 55 °С, тоді як у кополімері *N*-ізопропілакриламід з акриловою кислотою спостерігається додаткова рН-залежність, пов'язана з дисоціацією карбоксильних груп [7].

Отримані результати свідчать, що гетерофункціональні кополімери є ефективною платформою для створення матеріалів із заданими термочутливими властивостями. Завдяки можливості точного контролю КТР такі системи є перспективними для застосування у біомедичних матеріалах, клітинній інженерії, системах контрольованого вивільнення лікарських засобів та створенні «розумних» поверхонь.

1. Yoon, J. H., Kim, T., Seo, M., & Kim, S. Y. (2024). Synthesis and Thermo-Responsive Behavior of Poly(*N*-isopropylacrylamide)-*b*-Poly(*N*-vinylisobutyramide) Diblock Copolymer. *Polymers*, 16(6), 830. <https://doi.org/10.3390/polym16060830>

2. Djokpé, E. and Vogt, W. (2001), *N*-Isopropylacrylamide and *N*-Isopropylmethacrylamide: Cloud Points of Mixtures and Copolymers. *Macromol. Chem. Phys.*, 202: 750-757. [https://doi.org/10.1002/1521-3935\(20010301\)202:5<750::AID-MACP750>3.0.CO;2-8](https://doi.org/10.1002/1521-3935(20010301)202:5<750::AID-MACP750>3.0.CO;2-8)
3. Zuber, S., Landfester, K., Crespy, D. and Popa, A.-M. (2013), Temperature responsive copolymers of *N*-vinylcaprolactam and di(ethylene glycol) methyl ether methacrylate and their interactions with drugs. *J. Polym. Sci. Part A: Polym. Chem.*, 51: 3308-3313. <https://doi.org/10.1002/pola.26727>
4. Priest, J. H., Murray, S. L., Nelson, R. J., & Hoffman, A. S. (1987). Lower Critical Solution Temperatures of Aqueous Copolymers of *N*-Isopropylacrylamide and Other *N*-Substituted Acrylamides. In *ACS Symposium Series* (pp. 255–264). American Chemical Society. <https://doi.org/10.1021/bk-1987-0350.ch018>
5. Shen, Z., Terao, K., Maki, Y. et al. Synthesis and phase behavior of aqueous poly(*N*-isopropylacrylamide-*co*-acrylamide), poly(*N*-isopropylacrylamide-*co*-*N,N*-dimethylacrylamide) and poly(*N*-isopropylacrylamide-*co*-2-hydroxyethyl methacrylate). *Colloid Polym Sci* 284, 1001–1007 (2006). <https://doi.org/10.1007/s00396-005-1442-y>
6. Feil, H., Bae, Y. H., Feijen, J., & Kim, S. W. (1993). Effects of comonomer hydrophilicity and ionization on the lower critical solution temperature of *N*-isopropylacrylamide copolymers. *Macromolecules*, 26(10), 2496-2500. <https://doi.org/10.1021/ma00062a016>
7. Cao, L., Chen, L. and Lai, W. (2007), Precipitation copolymerization of *N*-isopropylacrylamide and acrylic acid in supercritical carbon dioxide. *J. Polym. Sci. A Polym. Chem.*, 45: 955-962. <https://doi.org/10.1002/pola.21836>
8. Popkov, Y.M., Nakhmanovich, B.I., Chibirova, F.K. et al. Copolymerization in *N*-vinylcaprolactam-*N*-vinylpyrrolidone and *N,N*-diethylacrylamide-*N,N*-dimethylacrylamide systems: The effect of composition and spatial structure of copolymers on their thermal sensitivity. *Polym. Sci. Ser. B* 49, 155–158 (2007). <https://doi.org/10.1134/S1560090407050120>

Секція
**ФІЗИЧНА ТА
НЕОРГАНІЧНА ХІМІЯ**

Керівник: доц., канд. хім. наук Стець Надія Вікторівна

Секретар: доц., канд. хім. наук Плясовська Катерина Андріївна

**ФАЗОВА ОРГАНІЗАЦІЯ КВАЗІТЕРНАРНИХ СИСТЕМ
La₂X₃ – In₂X₃ – GeX₂ (X – S, Se) ЗА ТЕМПЕРАТУРИ 770 К**

Блашко Н.М., Марчук О.В.

Волинський національний університет імені Лесі Українки

43025, м. Луцьк, просп. Волі, 13

e-mail: blashko.nazarii@vnu.edu.ua

Сучасне матеріалознавство активно розвивається завдяки дослідженню складних багатокомпонентних систем та проміжних фаз, що в них утворюються. Аналіз таких систем, а також властивостей нових сполук, є фундаментальною основою для формування баз даних перспективних функціональних матеріалів. Особливий науковий інтерес становлять системи типу R₂X₃ – {Ga, In}₂X₃ – GeX₂ (X – S, Se), оскільки вони базуються на бінарних халькогенідах, що відіграють ключову роль у напівпровідниковій техніці. Дослідження взаємодії компонентів у системах La₂X₃ – In₂X₃ – GeX₂ є складовою комплексного вивчення халькогенідів рідкісноземельних металів та елементів IIIA і IVA груп. Вихідні сполуки цих систем характеризуються конгруентним плавленням, вузькими областями гомогенності та добре вивченими кристалоструктурними параметрами, що детально описані у спеціалізованій літературі [1-6] (табл. 1).

Таблиця 1. Кристалографічні характеристики бінарних сполук

Сполука	СТ	ПГ	Періоди комірки, Å			Лі-ра
			a	b; β	c	
α-La ₂ S ₃	La ₂ S ₃	<i>Pnma</i>	7.66	4.22	15.95	[1]
γ-La ₂ S ₃	Th ₃ P ₄	<i>I43d</i>	8.723	–	–	[2]
La ₂ Se ₃	Th ₃ P ₄	<i>I43d</i>	9.0521	–	–	[3]
α-In ₂ S ₃	In ₂ S ₃	$\frac{I4_1}{amd}$	7.6163	–	32.3308	[4]
β-In ₂ S ₃	Al ₂ O ₃	<i>R3c</i>	6.561	–	17.57	[5]
β-In ₂ S ₃	MgAl ₂ O ₄	<i>Fd3m</i>	10.774	–	–	[6]
γ-In ₂ S ₃	In ₂ S ₃	<i>P3m1</i>	3.806	–	9.044	[7]
α-In ₂ Se ₃	Bi ₂ Te ₃	<i>R3m</i>	4.00	–	28.33	[8]
β-In ₂ Se ₃	...	$\frac{P6_3}{mmc}$	4.03	–	19.10	[9]
γ-In ₂ Se ₃	Al ₂ S ₃	<i>P6₁</i>	7.11	–	12.82	[10]
δ-In ₂ Se ₃	Ta ₂ S ₂ C	<i>P3m1</i>	4.00	–	9.56	[11]
GeS ₂	GeS ₂	$\frac{P2_1}{c}$	6.720	16.101; 90.88°	11.436	[12]
GeSe ₂	GeS ₂	$\frac{P2_1}{c}$	7.019	16.864; 90.65°	11.814	[13]

У досліджених квазітернарних системах на межових сторонах концентраційних трикутників встановлено наявність низки тернарних сполук. Їх кристалографічні характеристики детально описані в літературі [14-21] і зібрані в таблиці 2, що дозволяє систематизувати інформацію про проміжні фази та оцінити їхню роль у формуванні фазової поведінки досліджених систем.

Таблиця 2. Кристалографічні характеристики тернарних сполук

Сполука	СТ	ПГ	Періоди комірки, Å			Лі- ра
			<i>a</i>	<i>b; β</i>	<i>c</i>	
La ₃ InS ₆	La ₃ InS ₆	<i>P</i> _{2₁2₁2}	16.92	13.95	4.09	[14]
La ₃ In _{1,67} S ₇	<i>La</i> ₃ <i>CuSiS</i> ₇	<i>P</i> _{6₃}	10.1963	–	6.2792	[15]
La ₃ In _{1,67} Se ₇	<i>La</i> ₃ <i>CuSiS</i> ₇	<i>P</i> _{6₃}	10.50	–	6.50	[16]
La ₄ In _{4,67} S ₁₃	Nd _{4-x} In _{5-y} S ₁₃	<i>Pbam</i>	11.814	21.280	4.0384	[15]
La ₄ In _{4,67} Se ₁₃	...	<i>Pbam</i>	12.442	22.146	4.1969	[17]
La ₃ Ge _{1,25} S ₇	<i>La</i> ₃ <i>CuSiS</i> ₇	<i>P</i> _{6₃}	10.297	–	5.812	[18]
La ₃ Ge _{1,48} Se ₇	<i>La</i> ₃ <i>CuSiS</i> ₇	<i>P</i> _{6₃}	10.7656	–	6.0801	[19]
La ₂ GeS ₅	<i>La</i> ₂ <i>GeS</i> ₅	$\frac{P2_1}{c}$	7.641	12.702; 101.39°	11.814	[20]
La ₄ Ge ₃ S ₁₂	<i>La</i> ₄ <i>Ge</i> ₃ <i>S</i> ₁₂	<i>R3c</i>	19.40	–	8.10	[21]

Сплави досліджуваних систем синтезували з простих речовин з високим вмістом основного компонента (≥ 99,99 мас. %) у вакуумованих кварцових ампулах (до 10⁻² Па) у муфельній печі МП-30. Синтез включав нагрів до температури 700 °С зі швидкістю 40 °С/год та витримку протягом 10 год, подальше підвищення температури до 1100 °С зі швидкістю 12 °С/год та витримку 2 год і контрольоване охолодження до температури 500 °С зі швидкістю 6 °С/год. Для досягнення гомогенності зразки додатково витримували за температури 500 °С протягом 240 год, після чого їх гартували у воду кімнатної температури.

Рентгенофазовий аналіз виконували за дифрактограмами отриманими на установці ДРОН 4-13 з використанням CuKα-випромінювання у діапазоні 2θ = 10-80° (крок сканування 0,05°, експозиція у кожній точці 4 с). Фазовий склад визначали шляхом порівняння експериментальних дифрактограм із розрахованими порошкограмами бінарних і тернарних сполук за допомогою програмного пакета Powder Cell 2.4 [22].

$Pbam$

$Fd\bar{3}m$



)).

У Se-вмісній системі встановлено шість однофазних областей. Три двофазні рівноваги - $\{ \text{La}_3\text{In}_{1,67}\text{Se}_7 (\text{ПГ } P6_3) + \text{La}_3\text{Ge}_{1,25}\text{Se}_7 (\text{ПГ } P6_3) \}$, $Pbam$



$\} + \text{La}_3\text{Ge}_{1,25}\text{Se}_7 (\text{ПГ } P6_3) \}$ - поділяють концентраційний трикутник $I\bar{4}3d$

на чотири трифазні області: $\{ \text{La}_2\text{Se}_3 (\text{ПГ }) + \text{La}_3\text{In}_{1,67}\text{Se}_7 (\text{ПГ } P6_3) + \text{La}_3\text{Ge}_{1,25}\text{Se}_7 (\text{ПГ } P6_3) \}$, $\{ \text{La}_3\text{In}_{1,67}\text{Se}_7 (\text{ПГ } P6_3) + \text{La}_3\text{Ge}_{1,25}\text{Se}_7 (\text{ПГ } P6_3) + Pbam P6_1$



$\frac{P_{21}}{c}$) + La₃Ge_{1,25}Se₇ (ПГ P₆₃) та {In₂Se₃ (ПГ $\frac{P_{21}}{c}$) + GeSe₂ (ПГ P₆₃)}.

Розчинність компонентів і тернарних сполук у цих системах є обмеженою, а утворення четвертих сполук за температури відпалу 770 К не спостерігається.

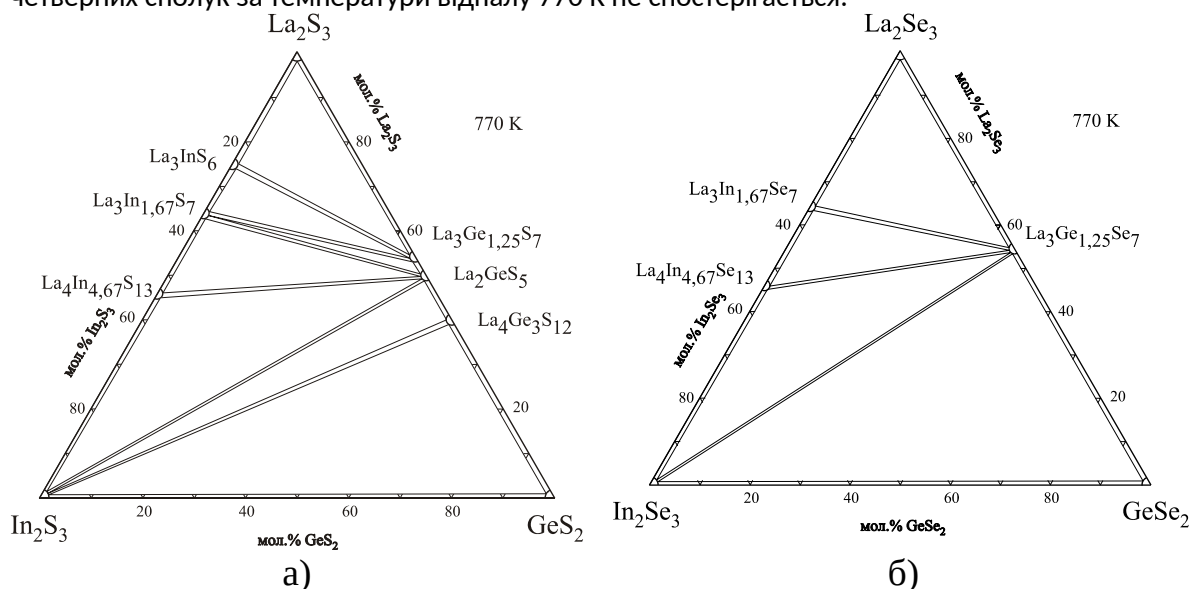


Рис. 1. Перерізи систем La₂X₃ – In₂X₃ – GeX₂ (а – сульфідна, б – селенідна) із фазовими областями за температури 770 К

1. Besançon P., Adolphe C., Flahaut J., Laruelle P. Sur les variétés α et β des sulfures L₂S₃ des terres rares. *Mater. Res. Bull.* 1969. Vol. 4(4). P.227-237.
2. Zachariasen W.H. Crystal Chemical Studies of the 5f-Series of Elements. I. New Structure Types. *Acta Crystallogr.* 1948. Vol. 1. P.265-268.
3. Massalski T.B. *Binary Alloy Phase Diagrams*, American Society for Metals. Materials Park. 1986. Vol. 1. P.3.
4. Rampersadh N.S., Venter A.M., Billing D.G. Rietveld refinement of In₂S₃ using neutron and X-ray powder diffraction data. *Physica B.* 2004. Vol. 350(1-3, Suppl.). P.e383-e385.
5. Range K.J., Zabel M. ϵ -In₂S₃, eine Hochdruckmodifikation mit Korundstruktur. *Z. Naturforsch. B.* 1978. Vol. 33(4). P.463-464.
6. Adenis C., Olivier-Fourcade J., Jumas J.C., Philippot E. Étude structurale par spectroscopie Möessbauer et rayons X des pinelles lacunaires de type In₂S₃. *Rev. Chim. Miner.* 1987. Vol. 24. P.10-21.

**ДОСЛІДЖЕННЯ МЕХАНІЗМУ ФОРМУВАННЯ НІТРАТ-
ДОПОВАНОГО A-NI(OH)₂ ДЛЯ ГІБРИДНИХ
СУПЕРКОНДЕНСАТОРІВ**

Андреев Д. А., Коваленко В. Л.

*Навчально-науковий інститут “Український Державний Хіміко-
технологічний Університет” Українського Державного Університету
Науки і Технологій*

Поява таких сучасних наноструктурованих матеріалів, як подвійно щаруваті гідроксиди (ПШГ) принципово змінила підхід до розробки електродних матеріалів для пристроїв накопичення енергії.

ПШГ на основі таких елементів, як нікель, кобальт, марганець, інших перехідних металів та композитні матеріали на їх основі, широко використовуються для накопичення енергії та виготовлення джерел струму, зокрема, у гібридних суперконденсаторах. Їх здатність оборотно змінювати ступінь окиснення та можливість модуляції їх характеристик шляхом інтеркаляції, роблять їх перспективним матеріалом для новітніх систем енергозбереження.

Електродні матеріали на основі гідроксидів нікелю, порівняно з багатьма сполуками інших перехідних металів, залишаються кращим вибором для використання в створенні джерел струму з високою щільністю енергії завдяки їхній кращій теоретичній питомій ємності, що значно перевищує 2000Ф/г, термічній стабільності та екологічності [1].

Гідроксиди нікелю, в залежності від умов синтезу, схильні до поліморфізму та існує у вигляді двох структурних модифікацій: більш електрохімічно активної α -фази ($3\text{Ni(OH)}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) і β -фази (Ni(OH)_2), що відрізняється стабільністю та більш щільною будовою.

Через більшу стабільність в умовах високих температур, та більшу електрохімічну стійкість при роботі в лужному середовищі, саме саме бета форма затребувана для виготовлення джерел струму, зокрема лужних акумуляторів.

Тим не менш, метастабільна альфа форма має більшу електрохімічну активність, що робить її перспективною для використання в новітніх гібридних суперконденсаторах. Електрохімічна активність альфа гідроксиду обумовлена більшою відстанню між шарами кристалічної ґратки, яка становить 6.0-7.7Å, у порівнянні з бета фазою, для якої міжшаровий простір має діапазон 2.3-4.6Å [2].

Стабілізації більш активної форми гідроксиду нікелю можна досягти за допомогою введення в його структуру іонів перехідних металів з іншим ступенем окиснення, наприклад алюмінію та ванадію. Аніони, що компенсують неврівноважений заряд катіонів доданого "гостя" інтеркалюються безпосередньо між шарами кристалічної ґратки "власника". Співвідношення фаз в отриманому таким чином ПШГ залежить в першу чергу від механізму його утворення. Процес утворення гідроксидів нікелю можна описати на трьох рівнях: хімічний, кристалохімічний та об'ємний.

На хімічному рівні відбувається формування речовини, склад якої був заданий співвідношенням іонів утворювача матриці "власника" та модифікатора "гостя". Через недостатньо вивчену роль інтеркальованих аніонів, цей механізм можна вважати найменш дослідженим. Кристалохімічний механізм починається з надшвидкої стадії нуклеації часточок гідроксиду в результаті локального перенасичення. Новоутворені зародки кристалів злипаються у первинну аморфну частинку. Завершальним етапом можна вважати поступову кристалізацію первинної

аморфної частинки, яка може тривати до кількох годин, в залежності від умов синтезу.

Об'ємний механізм утворення ПШГ гідроксиду показує утворення розгалужених ланцюгів зародків гідроксиду довкола маточного розчину. Таким чином, утворюється наноккомпозит, в якому ПШГ нікелю можна вважати матрицею, а захоплений в процесі утворення розчин - наповнювачем.

Нами висловлено припущення про двоетапний механізм утворення гідроксидів нікелю, зважаючи на наявність двох гідроксо груп в будові: утворення основної солі на першому етапі та поступове заміщення аніонів солі на гідроксо групи на протязі другого етапу. Перебіг запропонованого подвійного механізму міг би пояснити наявність наявність аніонів солі прекурсору в гідроксидах нікелю, отриманих методом хімічного осадження.

Нами досліджено механізм формування осаду гідроксиду нікелю за допомогою одночасного потенціометричного титрування зі скляним електродом та кондуктометричного титрування реакційної суміші.

Отримані дані потенціометричного титрування не містять характерних ознак формування проміжної основної солі нікелю складу NiOHNO_3 .

Тим не менш, за результатами кондуктометричного титрування можна впевнено сказати про поступове двостадійне формування осаду. Перша стадія - формування первинного осаду складу $\text{Ni}(\text{OH})_{1.87}(\text{NO}_3)_{0.13}$ в результаті взаємодії гідроксид аніонів та катіонів нікелю відбувається швидко у рідкій фазі. Друга, набагато більш повільна стадія - насичення первинного осаду гідроксил аніонами з поступовим витісненням аніонів прекурсору, та формування гідроксиду нікелю. Результати трилонометрії розчинених зразків осаду гідроксиду нікелю, зі встановленим

співвідношенням $\text{NaOH}/\text{Ni}^{2+}$ підтверджують ці дані. При співвідношенні $\text{NaOH}/\text{Ni}^{2+}$ на рівні 1,87 вміст нікелю дорівнює 52,95 % і може бути описаний формулою $\text{Ni}(\text{OH})_{1,87}(\text{NO}_3)_{0,13} \cdot 0,68\text{H}_2\text{O}$. У випадку співвідношення $\text{NaOH}/\text{Ni}^{2+}$ на рівні 2,2 вміст нікелю сягає 55,63 %, що відповідає формулі $\text{Ni}(\text{OH})_2 \cdot 0,71\text{H}_2\text{O}$. Таким чином, можна впевнено сказати про проміжну стадію утворення нітрат-допованого $\alpha\text{-Ni}(\text{OH})_2$ з наступним формуванням альфа фази остаточного гідроксиду нікелю [3].

Таким чином у результаті проведеного дослідження було детально вивчено механізми формування ПШГ нікелю та встановлено роль аніонної інтеркаляції у стабілізації їхньої структури. Встановлено, що процес проходить через проміжну фазу утворення нітрат-допованого $\alpha\text{-Ni}(\text{OH})_2$, що дозволяє переглянути класичні уявлення про швидкість та послідовність хімічного осадження ПШГ. Виявлена кореляція між співвідношенням реагентів $\text{NaOH}/\text{Ni}^{2+}$ та фазовим складом кінцевого продукту відкриває можливості для обґрунтованого вибору солей-прекурсорів. Це дозволяє ще на етапі планування синтезу закладати необхідну кількість аніонів-модифікаторів для формування ПШГ з бажаними властивостями.

Отримані результати створюють наукове підґрунтя для виробництва високопродуктивних електродних матеріалів з покращеною дифузією іонів. Можливість отримання ПШГ з підвищеною електрохімічною активністю дозволить значно підвищити питому ємність та потужність гібридних суперконденсаторів у майбутньому .

АНОДНЕ ФОРМУВАННЯ ПЛІВОК MnO_x З ВОДНО-СПИРТОВИХ РОЗЧИНІВ ФУМАРОВОЇ КИСЛОТИ

Семенча Д.¹, Вальцингер К.О.², Плясовська К. А.², Варгалюк В.Ф.²

¹*Дніпровський науковий ліцей інформаційних технологій Дніпровської міської ради*

²*Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара,
пр. Науки, 72, 49010, Дніпро, Україна*

pea041975@gmail.com

Тонкі плівки оксидів різних металів відіграють важливу роль у сучасному матеріалознавстві, електрохімії та суміжних галузях науки і техніки. Вони широко застосовуються в електроніці, енергетиці, сенсорних системах, каталізі та в якості захисних покриттів. Фізико-хімічні властивості згаданих плівок значною мірою залежать від способу їх отримання, складу та умов формування, які зумовлюють актуальність досліджень, спрямованих на вдосконалення методів синтезу тонкоплівкових матеріалів. Одним із найпоширеніших і технологічно доступних методів отримання плівок оксидів металів є анодне електроосадження, яке характеризується простотою реалізації, економічністю та можливістю керування товщиною, морфологією і структурою покриттів шляхом зміни параметрів процесу. Особливий інтерес становлять плівки на основі оксидів перехідних металів, зокрема діоксиду мангану, який завдяки унікальним властивостям знайшов застосування в багатьох галузях – від . Одним із перспективних підходів до регулювання процесу електроосадження є використання ненасичених карбонових кислот, які здатні стабілізувати іони металу в електроліті та впливати на механізм електродних реакцій [1]. Зокрема нами раніше проводилися дослідження впливу малеїнової кислоти на анодне формування тонких плівок MnO_x [2].

XXIV Всеукраїнська конференція молодих вчених та студентів з актуальних питань сучасної хімії, Дніпро, 18-21 травня 2026 р.

Фумарова кислота (ФК) є транс-ізомером малеїнової та також проявляє комплексоутворювальні властивості щодо іонів перехідних металів і може розглядатися як перспективний компонент для керування процесом формування плівок діоксиду мангану. Але її використання обмежене через низьку розчинність у воді. Раніше нами були проведені дослідження розчинності фумарової кислоти в водно-етанольних сумішах і доведено значне її підвищення (до 2-х разів) в сумішах складу вода : спирт = 1 : 1 ÷ 1 : 3 [3]. Для досліджень анодного формування тонких плівок MnO_x з фумарово-кислих електролітів нами був обраний розчинник, який містив по 50 % води та етанолу, як оптимальний з точки зору співвідношення розчинювальної здатності ФК та електропровідності системи. Використовували робочі електроліти з реактивів кваліфікації не нижче «х.ч.» та дистильованої води. Електролітичний марганець (99,99 %) розчиняли в концентрованій перхлоратній кислоті згідно з [2] та змішували в відповідних пропорціях із водним або водно-спиртовим розчином ФК. У результаті отримували електроліти із співвідношенням $Mn^{2+} : ФК = 1 : 2$. Повного розчинення кислоти у водному розчині не вдавалося досягти навіть під час нагрівання системи до 60 °С за інтенсивного перемішування – на відміну від легкого розчинення її у водно-спиртовій суміші. рН отриманих розчинів знаходився в інтервалі 3–3,5, і, на відміну від аналогічних електролітів на базі малеїнової кислоти, не вимагав нейтралізації залишків перхлоратної кислоти. Це пов'язано з різницею pK_a фумарової та малеїнової кислот (3,03 та 1,92): ФК є слабкішою і, як наслідок, має більшу буферну ємність в рівновазі з власними солями. В якості підложки використовували пластини хромованої сталі з загальною площею 10 см². Електроліз проводили за експериментально встановленої щільності струму $i = 4–5$ мА/см², що вдвічі

XXIV Всеукраїнська конференція молодих вчених та студентів з актуальних питань сучасної хімії, Дніпро, 18-21 травня 2026 р.

більше, ніж для малеїнатних електролітів, за температури електроліту 60 °С впродовж 15 хв. Результати наведені на рисунку.



а



б

Рисунок. Плівки MnO_x , отримані за однакових умов з водних (а) та водно-спиртових розчинів 0,1 М Mn^{2+} , 0,2 М ФК

Як видно, розчинник відіграє в даному випадку дуже значну роль для якості отриманих плівок. Отримана з водно-спиртового електроліту плівка (а) щільна, гладка, має хорошу адгезію до основи. Її видалення з поверхні потребувало значних зусиль. Плівка, сформована з водного розчину, відшарувалася від електроду одразу ж після висихання. Визначення міри, в якій отримані результати залежать від впливу повноти розчинення ФК чи участі в механізмі молекул спирту, потребують додаткових досліджень.

Використана література

1. Полтавець В. В. Електрохімічне формування та властивості електродних матеріалів на основі MnO_2 : дис. ... канд. хім. наук: 02.00.05 – електрохімія / Дніпровський нац. ун-т ім. О. Гончара, Держ. вищ. навч. закл. «Укр. держ. хіміко-технолог. ун-т» М-ва освіти і науки України. – Дніпро, 2019. – 147 с.
2. Кучай І. М., Плясовська К. А., Варгалюк В. Ф. Особливості електрохімічного осадження плівок на основі малеїнової кислоти та Mn^{2+} // XXI Всеукраїнська конференція молодих вчених та студентів з актуальних питань сучасної хімії, 2023. – С. 76–78.
3. Савченко Є. О., Вальцингер К. О., Плясовська К. А. Дослідження розчинності фумарової кислоти в водно-спиртових сумішах // XXIII Всеукраїнська конференція молодих вчених та студентів з актуальних питань сучасної хімії, Дніпро, 2025. – С. 88-91.

**ВИВЧЕННЯ ВПЛИВУ МІКРОХВИЛЬОВОГО ОПРОМІНЕННЯ
НА ХІМІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ САХАРИДІВ**

Тітова П.М.², Саєвич О. В.¹, Білан Л.І.²

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара,

проспект Науки, 72, м. Дніпро, 49045

Дніпровський ліцей № 111 Дніпровської міської ради,

проспект Героїв, 29, м. Дніпро, 49106

Вуглеводи є складовою частиною клітин усіх живих організмів й одним із чотирьох найбільших класів біомолекул. Це органічні сполуки, що складаються з вуглецю, кисню і водню та мають кілька гідроксильних й одну карбонільну групи. Найпоширенішими є фруктоза та сахароза, які є представниками моно та дисахаридів відповідно [1]. Моно та дисахариди — цінні харчові й смакові речовини, які широко використовуються у харчовій промисловості, а деякі з них застосовують у мікробіології та фармації.

Із даних літератури відомо, що дія фізичних полів різної природи може призводити до зміни властивостей біополімерів, тому дослідження впливу мікрохвильового поля на фізичні та хімічні властивості сахаридів - актуальне питання. Дослідження дії мікрохвильового поля на властивості моно- та дисахаридів дозволить краще використовувати потенціал вуглеводів у різних сферах їх застосування. Метою роботи було визначення впливу мікрохвильового опромінення на перебіг реакції Селіванова у розчинах сахарози та фруктози. Було досліджено вплив мікрохвильової дії на зразки бурякового цукру та фруктози. Наважку вуглеводу масою 12 г опромінювали в чашці Петрі у мікрохвильовій печі. Варіювали час та параметри мікрохвильової дії. Спираючись на попередні

XXIV Всеукраїнська конференція молодих вчених та студентів з актуальних питань сучасної хімії, Дніпро, 18-21 травня 2026 р.

дослідження було обрано наступні параметри: потужність 700W, час – 30 та 90 с. Для порівняння використовували неопромінені зразки сахаридів.

За даними літератури відомо, що дія мікрохвильового поля може каталізувати гідроліз сахарози, внаслідок чого її молекула буде розпадатися на фруктозу та глюкозу. Тому досліджували перебіг реакції Селіванова у розчинах опроміненних та неопроміненних зразків сахаридів. Проба Селіванова – це якісна кольорова реакція, яка дозволяє виявити наявність фруктози у розчині. В присутності кетогексоз (фруктоза, сахароза) з'являється характерне вишнево-червоне забарвлення. На відміну від фруктози, глюкоза дає слабе забарвлення або не реагує зовсім [1]. Різке посилення інтенсивності забарвлення в реакції Селіванова підтверджуватиме накопичення вільної фруктози та підвищення загальної реакційної здатності системи. Для визначення впливу мікрохвильової дії також проводили опромінення розчинів сахаридів з подальшим проведенням реакції Селіванова. На рис 1 наведено порівнювальний результат реакції Селіванова з розчинами бурякового цукру.

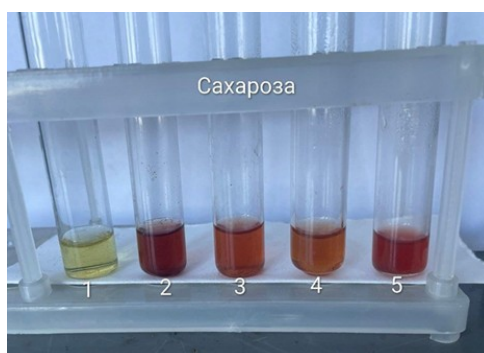


Рис. 1 – Результати проведення реакції Селіванова для 10 % розчинів бурякового цукру: 1 – розчин, представлений для порівняння (не містить фруктозу); 2 – контрольний розчин; 3 - розчин цукру, опромінення зразку 30 с; 4 - розчин цукру, опромінення 90 с; 5 - контрольний розчин, після опромінення протягом 30 с.

Контрольний зразок (пробірка 2) має вишнево-червоне забарвлення, що свідчить про наявність вільної фруктози, яка утворилася внаслідок

гідролізу сахарози під дією реагенту Селіванова. Відомо, що дія високоенергетичними полями на молекулу вуглеводів може призводити не тільки до зміни їх конформації, а й при певних параметрах, і до часткового руйнування вуглеводів, тому після мікрохвильового випромінювання результати можуть відрізнятися від стандартних. Мікрохвильове поле викликає швидке обертання диполів води, що призводить до локальних перегрівів ("hot spots") [1]. Мікрохвилі інтенсивно взаємодіють із мережею водневих зв'язків сахарози, що може призводити до «розпушення» її конформації та зниження енергії активації реакції гідролізу, внаслідок чого утворюються молекули фруктози та глюкози [2]. Але так як фруктоза є значно менш термостабільною, ніж глюкоза, вона швидше піддається подальшій деградації. При цьому глюкоза може бути основним виявленим моносахаридом у системі, і вона не реагує з реактивом Селіванова (пробірки 3-5). На рис. 2 наведено результати проведення реакції Селіванова з розчинами фруктози.

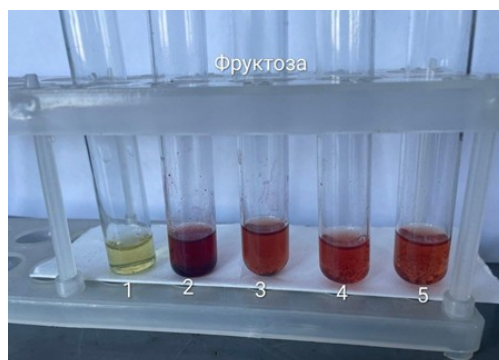


Рис. 2 – Результати проведення реакції Селіванова для 10 % розчинів фруктози: 1 – розчин, представлений для порівняння (не містить фруктозу); 2 – контрольний розчин; 3 - розчин цукру, опромінення зразку 30 с; 4 - розчин цукру, опромінення 90 с; 5 - контрольний розчин, після опромінення протягом 30 с.

Для зразків фруктози також зафіксовано суттєві зміни у перебігу реакції Селіванова. Контрольний розчин (пробірка 2) демонструє глибоке

вишнево-червоне забарвлення, що відповідає високій концентрації фруктози в її нативній формі. Внаслідок дії мікрохвильового поля спостерігається зміна інтенсивності кольору, що може бути зумовлено структурними перебудовами молекули фруктози або її термічною деградацією

Висновки. На основі проведених випробувань можна стверджувати, що мікрохвильове опромінення не є нейтральним термічним фактором, а виступає потужним модифікатором структури вуглеводів. Найбільш чутливою до дії мікрохвильового поля є фруктоза. Для сахарози мікрохвильове опромінення діє як каталізатор, що ініціює деструкцію (гідроліз) до моносахаридів. Для фруктози (моносахарид): опромінення є деструктивним фактором. Висока термолабільність фруктози до мікрохвильового випромінювання зумовлює деструкцію її молекул, що призводить до зниження інтенсивності аналітичного сигналу в реакції Селіванова.

Список використаної літератури

1. Хиля О.В. Практикум з хімії вуглеводів / О.В. Хиля //К.: Видавничо-поліграфічний центр “Київський університет”, 2009. – 40 с.
2. Do non-thermal effects exist in microwave heating of glucose aqueous solutions? Evidence from molecular dynamics simulations/ Y. Tao, B. Yan, N. Zhang et al.// Food chemistry – 2022 –Vol 375. – P. 131677.
3. Petrova K., Barros M.T. & Correia-Da-Silva P./ Sucrose chemistry: Fast and Efficient Microwave-assisted Protocols for the Generation of Sucrose-Containing Monomer Libraries// [Microwave Heating](#) – 2011 – 384 p.

ПОШУКИ МОЖЛИВОСТЕЙ РЕАЛІЗАЦІЇ КОНЦЕПЦІЇ ХІМІЧНИХ «ВІДБИТКІВ ПАЛЬЦІВ» ДЛЯ ЗРАЗКІВ КАМ'ЯНОГО ВУГІЛЛЯ РІЗНОГО ПОХОДЖЕННЯ

Маланія М. М.

*Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара,
проспект Науки, 72, м. Дніпро, 49045*

Судова хімія навколишнього середовища передбачає використання методів для визначення слідових кількостей хімічних речовин для розслідування факта ушкодження навколишнього середовища з метою визначення цивільної або кримінальної відповідальності. Цей напрямок можна розділити на дві широкі області залежно від методів, що використовуються для визначення відповідальності: хімічний «дактилоскопічний» аналіз та просторова асоціація.

Хімічна дактилоскопія є дочірньою галуззю судово-медичної хімії навколишнього середовища, яка досліджує складні суміші з метою встановлення унікальної хімічної сигнатури, яку можна використовувати для визначення джерела походження хімічних речовин. Колись було достатньо просто скласти загальну класифікацію та кількісну оцінку хімічної суміші, щоб можна було розробити та впровадити відповідні заходи щодо її ідентифікації. Однак сучасні аналітичні методи, спрямовані на індивідуалізацію та пов'язування суміші з джерелом, стають дедалі популярнішими, як з міркувань відповідальності, так і через визнання та спроби розподілити відповідальність, коли кілька та/або часово віддалених сторін можуть бути відповідальними, за хімічне забруднення. Основними цілями хімічної дактилоскопії є характеристика, кількісне визначення та індивідуалізація хімічної суміші (Alimi et al., 2003). Сучасні аналітичні методи, зокрема газова хроматографія з МАСС детекцією дозволяють аналізувати досить складні суміші, виявляти їх відмінності та впевнено ідентифікувати окремі їх компоненти. (GC). В роботі пропонується створити алгоритм аналізу кам'яного вугілля з метою виявлення особливостей його вмісту, за допомогою чого можна буде проводити ідентифікацію його походження. Для підготовки матеріалу о аналізу пропонується проводити екстракцію його компонентів розчинниками, а також проводити його термічну обробку з метою аналізу газоподібних продуктів, що можуть виділятися (утворюватися) під дією високих температур. Створений алгоритм буде включати в себе пробопідготовку, виділення, за потреби, концентрування аналізуємих компонентів, аналіз отриманих сумішей методом GCMS. Використання цього алгоритму дозволить встановити можливості застосування концепції «відбитків пальців» для коректної ідентифікації зразків кам'яного вугілля різного походження.

ВПЛИВ КИСЛОТНОГО ТРАВЛЕННЯ ТА ІОНООБМІННОЇ ОБРОБКИ НА МІЦНІСТЬ ЛИСТОВОГО СКЛА

Вдовенко Д. С., Жданюк Н. В.

Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського", просп. Берестейський, 37, м. Київ, 03056, Україна

Листове натрій-кальцій-силікатне скло має високу прозорість, хімічну стійкість і твердість, але його практична міцність значно нижча за теоретичну. Найчастіше руйнування починається не в об'ємі матеріалу, а на поверхні: у мікротріщинах, подряпинах або на концентраторах напружень у дефектах кромки. Тому для тонкого флоат-скла важливо керувати станом поверхневого шару. Термічне загартування підвищує міцність, однак після такої обробки скло вже складно різати й механічно доробляти. Хімічні способи в цьому плані гнучкіші. Кислотне травлення знімає дефектний поверхневий шар і притупляє вершини тріщин. Іонний обмін у розплаві KNO_3 працює інакше: менші іони Na^+ у поверхні скла заміщуються більшими іонами K^+ , через що виникають залишкові стискальні напруження, які гальмують розкриття тріщин [2, 3].

Метою роботи було порівняти вплив кислотного травлення та іонообмінної обробки на міцність при згині й ударну в'язкість листового скла. Окремо оцінювали розкид значень, бо для крихких матеріалів стабільність результатів має практичне значення: спостерігається значна статистична варіативність показників міцності зразків листового скла навіть у межах однієї партії. Для аналізу використано експериментальні дані трьох серій: відпалене скло, іонообмінно зміцнене скло та скло після кислотного травлення. У випробуваннях на згин робоча довжина зразків становила 5 см, товщина близько 0,26 см, ширина близько 1,9-2,1 см. Міцність на згин розраховували за формулою
$$P = \frac{3FL}{bd^3}$$
 де P - руйнівне навантаження, L - відстань між опорами, b - ширина зразка, d - товщина. Для ударних випробувань використовували пластини товщиною 0,40 см. У кожній серії було по 10 значень. Кислотне травлення виконували в суміші 5,25 н HF і 6 н H_2SO_4 за температури 25 °С протягом 5 хв. Іонообмінну обробку розглядали як зміцнення у розплаві KNO_3 . За даними літератури, з підвищенням температури й часу витримки дифузія K^+ у поверхневий шар зростає, але за режимів, близьких до T_g , може починатися релаксація

XXIV Всеукраїнська конференція молодих вчених та студентів з актуальних питань сучасної хімії, Дніпро, 18-21 травня 2026 р.

стискальних напружень [1, 4, 5]. Вибір оптимального режиму іонообмінної обробки обмежений розвитком процесів релаксації напружень, що потребує суворого дотримання температурно-часових параметрів.

Таблиця 1 - Статистична обробка механічних випробувань скла

Серія	Згин, МПа	Ударна в'язкість, Дж/см²	Приріст до контролю
Відпалене	86,3 ± 28,7; CV 33,2 %	0,140 ± 0,033; CV 23,7 %	контроль
Іонообмінне	116,3 ± 24,1; CV 20,7 %	0,196 ± 0,028; CV 14,3 %	згин +34,7 %; удар +40,4 %
Травлене	88,5 ± 10,4; CV 11,8 %	0,149 ± 0,025; CV 16,7 %	згин +2,5 %; удар +6,3 %

У таблиці середнє значення подано разом зі стандартним відхиленням; CV показує розкид результатів у відсотках. Для кожної серії взято 10 зразків.

Іонообмінна обробка дала найбільший приріст. Середня міцність на згин зростає з 86,3 до 116,3 МПа, тобто приблизно на 35 %. Ударна в'язкість підвищилася з 0,140 до 0,196 Дж/см², або приблизно на 40 %. Разом із цим зменшився коефіцієнт варіації: для згину з 33,2 до 20,7 %, для ударних випробувань з 23,7 до 14,3 %. Отже, після іонного обміну скло характеризувалося вищою стабільністю показників міцності. Травлення в цій серії дало інший ефект. Середня міцність на згин майже не змінилася: 88,5 МПа проти 86,3 МПа для відпаленого скла. Для ударної в'язкості приріст також був невеликий. Водночас спостерігалось суттєве зниження розкиду значень міцності при згині: CV став 11,8 % замість 33,2 %. У процесі травлення відбувається видалення поверхневого дефектного шару та притуплення вершин мікротріщин (ефект Гріффіта), що сприяє стабілізації міцності. Різниця між методами пов'язана з їхньою дією на поверхню. Травлення переважно усуває або послаблює вже наявні дефекти. Іонний обмін формує новий стискальний шар, який заважає тріщинам розкриватися під навантаженням. Тому іонообмінне зміцнення закономірно дало більший приріст середньої міцності, а травлення виявилось корисним для підвищення відтворюваності результатів.

Ці дані добре поєднуються з результатами досліджень іонного обміну натрій-кальцій-силікатного скла. Зокрема, для обробки у KNO₃ при

475 °С протягом 6 год наведено міцність на згин близько 180 МПа і мікротвердість 6,58 ГПа [1, 4]. Водночас за таких умов уже помітна тенденція до зменшення приросту через релаксацію стискальних напружень. Отже, технологічно важливо знайти режим, у якому дифузія K^+ достатня для зміцнення, але релаксація ще не знижує ефект.

Практичний висновок такий: для підвищення несучої здатності скла доцільніше застосовувати іонний обмін, а кислотне травлення можна розглядати як спосіб попереднього вирівнювання поверхні або як допоміжну операцію після різання й обробки кромки. Послідовність «травлення - іонний обмін» виглядає обґрунтованою, бо перший етап зменшує кількість дефектів, а другий створює стискальний поверхневий шар.

Окремо треба враховувати, що флоат-скло має дві технологічно різні поверхні: Air-сторону і Tin-сторону. За даними попередніх досліджень, Air-поверхня зазвичай показує вищу початкову твердість і міцність, тоді як Tin-поверхня може бути чутливішою до дефектів після різання [1, 5]. Це пояснює, чому однакова хімічна обробка не завжди дає однаковий приріст для всіх зразків. Для коректного порівняння режимів зміцнення бажано фіксувати не тільки середню міцність, а й стан кромки, сторону флоат-скла, коефіцієнт варіації та зміну маси після обробки. Використання коефіцієнта варіації дозволяє отримати об'єктивну оцінку надійності матеріалу та стабільності запропонованої технології зміцнення.

Таким чином, хімічна модифікація поверхні є ефективним методом зміцнення листового скла, але її результат залежить від механізму обробки. Іонообмінне зміцнення забезпечило найбільше зростання середніх показників: приблизно 35 % для міцності на згин і 40 % для ударної в'язкості. Кислотне травлення в дослідженому режимі майже не підвищило середню міцність, проте суттєво підвищило стабільність показників міцності на згин, зменшивши їх статистичний розкид. Для наступного етапу варто перевірити комбінований режим і окремо оцінити вплив стану кромки, оскільки саме дефекти кромки як критичні концентратори напружень часто визначають момент руйнування тонких скляних пластин.

Список використаних джерел

1. Жданюк Н. В. Дослідження міцності натрій-кальцій-силікатного скла, зміцненого іонообмінним методом. Технічні науки та технології. 2025. № 4(42). С. 314-324. DOI: 10.25140/2411-5363-2025-4(42)-314-324.

2. Gy R. Ion exchange for glass strengthening. *Materials Science and Engineering: B*. 2008. Vol. 149, No. 2. P. 159-165. DOI: 10.1016/j.mseb.2007.11.029.
3. Karlsson K. S. R., Wondraczek L. Strengthening of oxide glasses. *Encyclopedia of Glass Science, Technology, History, and Culture*. 2021. DOI: 10.1002/9781118801017.ch3.12.
4. Sglavo V. M., Quaranta A., Allodi V., Mariotto G. Analysis of the surface structure of soda lime silicate glass after chemical strengthening in different KNO_3 salt baths. *Journal of Non-Crystalline Solids*. 2014. Vol. 401. P. 105-109. DOI: 10.1016/j.jnoncrysol.2014.01.026.
5. Güzel A. S., Sarıgüzel M., Özdemir Yanık M. C., Günay E., Usta M., Öztürk Y. Enhancing mechanical endurance of chemical-tempered thin soda-lime silicate float glass by ion exchange. *Journal of the Australian Ceramic Society*. 2020. Vol. 56, No. 1. P. 185-201. DOI: 10.1007/s41779-019-00375-x.

Секція

ХАРЧОВА ХІМІЯ ТА СУЧАСНІ ХАРЧОВІ ТЕХНОЛОГІЇ

**Керівник: доц., канд. техн. наук Кондратюк
Наталія Вячеславівна**

**Секретар: доц., канд. хім. наук Чернушенко
Олена Олександрівна**

РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ ТА АНАЛІЗ ЯКОСТІ МАЙОНЕЗНИХ СОУСІВ НА ОСНОВІ ГЕЛЛАНОВОЇ КАМЕДІ

Кондратюк Н.В., Маторіна К.В.

*Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара,
проспект Науки, 72, м. Дніпро, 49045*

Сучасний розвиток харчової промисловості орієнтований на створення продуктів нового покоління, які поєднують високу харчову та біологічну цінність, безпечність, стабільність під час зберігання та відповідність концепції здорового харчування. Одним із перспективних напрямів є розробка низькокалорійних емульсійних продуктів із покращеними структурно-механічними характеристиками та мінімальним використанням синтетичних стабілізаторів. Значна увага приділяється майонезним соусам, які є складними багатокомпонентними дисперсними системами та потребують ефективної стабілізації емульсії.

У зв'язку зі зростанням попиту на продукти категорії «clean label» актуальним є використання природних гідроколоїдів як структуроутворювачів і стабілізаторів. Одним із найбільш перспективних інгредієнтів є гелланова камедь (E418) — мікробний полісахарид, що характеризується високою термостійкістю, здатністю утворювати прозорі еластичні гелі навіть у низьких концентраціях та стабілізувати емульсійні системи у широкому діапазоні рН.

Метою роботи було наукове обґрунтування технології виробництва майонезних соусів із використанням гелланової камеді як стабілізатора емульсії, а також комплексна оцінка якості та безпечності готового продукту.

Об'єктом дослідження була технологія виробництва емульсійних соусів типу майонез із використанням гелланової камеді, а також система управління якістю та безпечністю на основі принципів НАССР.

У роботі проведено аналіз сучасного стану виробництва майонезних соусів та встановлено, що основними технологічними проблемами при створенні низькокалорійних емульсійних продуктів є: забезпечення стабільності емульсії; попередження розшарування; формування необхідної консистенції при зниженому вмісті жиру; забезпечення мікробіологічної безпечності; збереження високих органолептичних характеристик. Показано, що використання гелланової камеді дозволяє ефективно вирішувати зазначені проблеми завдяки її високим гелеутворювальним властивостям, сумісності з іншими гідроколоїдами та здатності утримувати значну кількість вологи.

У роботі було розроблено технологію виробництва майонезного соусу на основі комбінованої системи гідроколоїдів: високоацильованого

геллану, ксантанової та гуарової камедей. Встановлено, що найбільш ефективним є введення гелланової камеді у воду при температурі 40–50 °С з інтенсивним перемішуванням, що забезпечує повне розчинення полісахариду без утворення грудочок та формування однорідної гелевої структури.

Технологічний процес включав: підготовку гідроколоїдної суміші; формування гелю; введення солі, цукру та яєчного порошку; емульгування з рослинною олією; гомогенізацію; пастеризацію; фасування та охолодження готового продукту.

Показано, що високотискова гомогенізація забезпечує диспергування жирових глобул до розміру менше 1 мкм, що значно підвищує стабільність емульсії та запобігає її розшаруванню під час зберігання.

У межах експериментальних досліджень було виготовлено декілька серій майонезних соусів: соуси на основі «холодного» гелю; пастеризовані гелі без ксантану; низькокалорійні соуси зі зменшеним вмістом соняшникової олії; соуси із заміною частини соняшникової олії на соєву.

Досліджено вплив концентрації гелланової камеді на органолептичні та структурно-механічні властивості продукту. Встановлено, що оптимальною є концентрація геллану 0,03 %, яка забезпечує: стабільну емульсію; глянцеvu поверхню; кремоподібну консистенцію; ніжний смак; відсутність синерезису; високі органолептичні показники.

Органолептична оцінка показала, що найкращі результати мав зразок із вмістом 0,03 % геллану та 30 % рослинної олії. Він характеризувався свіжим смаком, однорідною структурою та високою стабільністю при зберіганні. Встановлено, що синергічна дія гелланової, ксантанової та гуарової камедей сприяє формуванню комплексної просторової матриці, яка ефективно утримує вологу та стабілізує емульсійну систему. Гуарова камедь забезпечує пластичність та об'єм, ксантанова — в'язкість і стабільність при механічному впливі, а високоацильований геллан формує м'який еластичний гель та попереджає виділення вологи.

Особливу увагу приділено створенню низькокалорійного продукту. Розроблена рецептура дозволила: зменшити вміст жиру; виключити модифікований крохмаль; знизити кількість цукру; підвищити вміст білка за рахунок яєчного порошку. У результаті вдалося отримати продукт із калорійністю близько 290 ккал/100 г, що відповідає сучасним вимогам до функціональних продуктів харчування.

Проведено порівняння біологічної та функціональної цінності зразку салатного майонезного соусу з жирністю 30% зі зразком, що був виготовлений за запропонованою технологією, узагальнені результати наведені у таблиці 3.13.

Запропонована рецептурно-технологічна модель майонезного соусу з масовою часткою жиру 30 % базується на принципах цілеспрямованої нутрієнтної оптимізації, функціональної стабілізації емульсійної системи та скорочення переліку традиційних харчових добавок. У порівнянні з існуючою промисловою технологією, з рецептури повністю вилучено модифікований крохмаль (30 г/кг) і зменшено вміст цукру на 10 г/кг, що дозволяє скоротити енергетичну цінність продукту приблизно на 160 ккал/кг за рахунок вуглеводної складової. Такий підхід відповідає сучасним тенденціям формування продуктів із зниженою калорійністю без втрати структурно-механічних та органолептичних властивостей.

Компенсація стабілізаційної функції, яка у традиційних рецептурах забезпечується крохмалем, досягається за рахунок підвищення білкової складової та формування комплексної білково-гідроколоїдної матриці. Збільшення дози яєчного порошку до 20 г/кг сприяє зростанню вмісту білка орієнтовно до 9,6 г/кг продукту та одночасно покращує емульгувальні властивості системи завдяки наявності природних лецитинів. Це забезпечує високу дисперсність жирових глобул і стійкість емульсії без застосування крохмалевих наповнювачів.

Ключовим елементом стабілізації структури є застосування комбінованої гідроколоїдної системи «ксантанова камедь – гуарова камедь – високоацильований геллан». Гуарова камедь формує об'єм і пластичність продукту, ксантан забезпечує високі значення в'язкості при зсуві, а також стабільність до дії солей, кислот і температурних коливань, тоді як високоацильований геллан утворює м'який еластичний гель, здатний ефективно зв'язувати вільну вологу. Синергічна дія цих гідроколоїдів сприяє зменшенню відділення вологи, що є важливими показниками споживчої якості низькокалорійних майонезних соусів. Система консервування продукту побудована за принципами сучасної «м'якої» біоконсервації. Комбінація нізину (0,05 %), лимонної кислоти (0,3 %) та зниженої дози калію сорбату (0,03 %) забезпечує мікробіологічну безпеку продукту без застосування хелатуючих агентів типу CaNa₂EDTA (E385). Відмова від оцтової та молочної кислот і перехід на лимонну кислоту дозволяє сформувати більш м'який смаковий профіль без різкої оцтової ноти, зберігаючи при цьому необхідний рівень кислотності та стабільності емульсії.

Запропонована технологія має низку вагомих маркетингово-етикеткових переваг, зокрема можливість декларування таких

характеристик, як «без крохмалю», «без барвників», «без E385», «менше солі», а також «з нізином», який за потреби може позиціонуватися як біопептидний консервант. Це підвищує конкурентоспроможність продукту в сегменті легких та умовно натуральніших майонезів із масовою часткою жиру 30 %.

За необхідності подальшої оптимізації енергетичної цінності продукту можливе додаткове зниження калорійності на 10–15 ккал/100 г шляхом зменшення вмісту цукру до 1,0–1,5 % та часткової редукації олії до 28–29 % із компенсацією структури за рахунок збільшення частки високоацильованого геллану та введення цитратів для регулювання іонної сили середовища. Альтернативно, у межах концепції «без E-індексів» може розглядатися заміна сорбату на рослинні екстракти (наприклад, розмариновий) та ферментовані оцтові системи, однак такий підхід потребує додаткових мікробіологічних валідацій і супроводжується зростанням собівартості. Проведений аналіз харчової цінності показав, що розроблений майонезний соус містить: менше вуглеводів; більшу кількість білка; меншу енергетичну цінність порівняно з традиційними аналогами.

Система консервування продукту була побудована за принципами «м'якої» біоконсервації та включала: нізин; лимонну кислоту; калій сорбат. Такий підхід дозволив забезпечити мікробіологічну безпечність продукту без використання хелатуючих агентів та агресивних консервантів. У роботі також досліджено перспективи використання гелланової камеді у фруктових соусах функціонального призначення. Встановлено, що гелланова матриця ефективно стабілізує системи, збагачені біоактивними компонентами, зокрема порошками винограду, полуниці, сливи, какао та кокосу. Економічний аналіз показав, що собівартість розробленого продукту становить 54,58 грн/кг, а відпускна ціна — 76,63 грн/кг. Незважаючи на деяке підвищення собівартості у порівнянні з традиційними технологіями, розроблений продукт має значно вищий комплексний показник якості, покращені функціональні властивості та відповідає сучасним ринковим тенденціям. Розрахований комплексний показник якості підтвердив переваги запропонованої технології. Встановлено, що розроблений майонезний соус характеризується високою споживчою цінністю, конкурентоспроможністю та перспективністю промислового впровадження.

Таким чином, результати проведених досліджень підтверджують ефективність використання гелланової камеді як стабілізатора низькокалорійних майонезних соусів та доводять доцільність впровадження розробленої технології у виробництво функціональних емульсійних продуктів нового покоління.

ЗМІСТ

СЕКЦІЯ АНАЛІТИЧНА ХІМІЯ.....	5
Зафіров Ф.Г., Вишнікін А. Б. ПРОБОПІДГОТОВКА ЯК ОДИН З ВИРІШАЛЬНИХ ЕТАПІВ ХІМІЧНОГО АНАЛІЗУ В ХОДІ КРИМІНАЛІСТИЧНОЇ ЕКСПЕРТИЗИ.....	6
Баштова І.О., Хмельникова Л. І. ВИКОРИСТАННЯ ПРАКТИЧНИХ НАВИЧОК СТУДЕНТІВ У ДОСЛІДНИЦЬКІЙ РОБОТІ	11
Маторіна К.В., Гордон А. РОЗРОБКА ПОТЕНЦІОМЕТРИЧНОЇ МЕТОДИКИ ВИЗНАЧЕННЯ ВІТАМІНУ В ₁ З ВИКОРИСТАННЯМ МЕМБРАННИХ І ТВЕРДОТІЛЬНИХ СЕНСОРІВ.....	14
СЕКЦІЯ ОРГАНІЧНА ТА ФАРМАЦЕВТИЧНА ХІМІЯ	19
Popadyuk M. V., Dil K.V SYNTHESIS AND PROSPECTS FOR THE APPLICATION OF 1,2-DIPHENYL-1,5,6,7-TETRAHYDROTHIOPYRANO[3,2-b]PYRROLE 4,4-DIOXIDE AS A KEY BUILDING BLOCK FOR THE DEVELOPMENT OF PHARMACEUTICALS.....	20
Бершак А. Ю., Коптева С.Д., Коваленко С.І. ОСОБЛИВОСТІ АЦИЛУВАННЯ 3-(2-АМІНОФЕНІЛ)-6-МЕТИЛ-1,2,4-ТРИАЗИН-5(2H)-ОНУ ХЛОРАЦЕТИЛХЛОРИДОМ ТА РОЗРОБКА АЛЬТЕРНАТИВНИХ МЕТОДІВ СИНТЕЗУ НОВОЇ БЕНЗОТРИАЗИНОДІАЗЕПІНОВОЇ СИСТЕМИ.....	22
Приймаченко В.В., Тимошенко К.І., Пальчиков В.О., Ісаєв О.К. КЕРОВАНІЙ ШТУЧНИМ ІНТЕЛЕКТОМ ДИЗАЙН НОВИХ НОРБОРНАДІЄНОВИХ СИСТЕМ ДЛЯ НАКОПИЧЕННЯ ТА ЗБЕРІГАННЯ СОНЯЧНОЇ ЕНЕРГІЇ.....	25
Семьошкіна О.Д., Запорожець О.С., Корнева В.В., Носик П.С., Ляшук О.С., Григоренко О.О. СИНТЕЗ ТА ЗАСТОСУВАННЯ АЛКІЛСТАННАНТРАНІВ ЯК УНІВЕРСАЛЬНИХ ПРЕКУРСОРІВ ДЛЯ C(SP ³)-C(SP ²) КРОС-КАПЛІНГУ.....	27
Бутенко А.М., Коваленко С.І. ЗАМІЩЕНІ N-(2-(3-ЕТИЛТІО-1H-1,2,4-ТРИАЗОЛ-5-ІЛ)ФЕНІЛ)-АЦИЛАМІДИ. РОЗРОБКА ОПТИМАЛЬНИХ УМОВ СИНТЕЗУ, СПЕКТРАЛЬНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ЗАСТОСУВАННЯ.....	30
Кузів Я.Б., Дубей І.Я., Клішевич Г.В., Гнатюк І.І., Гринь В.О., Кадан В.М., Дмитрук І.М., Башмакова Н.В., Дмитрук А.М., Бондар М.В. СИНТЕЗ ЛІПОФІДЬНИХ АНЛІНОСКВАРАЇНОВИХ БАРВНИКІВ ТА ОЦІНКА ЇХ РОЗЧИННОСТІ В Н-ГЕКСАНІ ТА ЦИКЛОГЕКСАНІ.....	33
Тимошенко К.І., Пальчиков В.О. УТВОРЕННЯ МЕТИЛБЕНЗІМІДАЗОЛУ В УМОВАХ ФОТОХІМІЧНОЇ РЕАКЦІЇ.....	37
СЕКЦІЯ ХІМІЯ ТА ХІМІЧНА ТЕХНОЛОГІЯ ВИСОКОМОЛЕКУЛЯРНИХ СПОЛУК.....	40
Дріжд В.Л., Вахітов Р.А., Таран Н.А., Калафат К.В. ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ПОЛІМЕРУ НА ВОГНЕЗАХИСКУ ЕФЕКТИВНІСТЬ ІНТУМЕСЦЕНТНОГО ПОКРИТТЯ.....	41
Пархомук П.А., Косіцина О.С. ПРОЄКТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ЛІНІЇ ВИРОБНИЦТВА ЕМУЛЬСІЙНОГО КОСМЕТИЧНОГО КРЕМУ З ПРИНЦИПАМИ «ЗЕЛЕНОЇ» ХІМІЇ.....	45
Кучук М.С., Ващенко Л.В, Светіков О.О., Погорелов Ю.М. Кравченко О.В. ФОРМУВАННЯ ТЛЮЧОГО РОЗРЯДУ НАД РІДКИМ КАТОДОМ З РОЗЧИНУ МАГНІЙ ХЛОРИДУ.....	48

XXIV Всеукраїнська конференція молодих вчених та студентів з актуальних питань сучасної хімії, Дніпро, 18-21 травня 2026 р.

Гриценко Т. О., Цюпка Ю. Ю. ДОСЛІДЖЕННЯ СОБЦІЙНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ПОЛІВІНІЛПІРОЛІДОНВІСНИХ ГІДРОГЕЛІВ, МОДИФІКОВАНИХ ПОЛІАМІДОМ.....	53
Чорновол О. С. ПРОГРЕС ЕЛЕКТРОХІМІЧНОГО СИНТЕЗУ НІТРАТНОЇ КИСЛОТИ: ДИЗАЙН КАТАЛІЗАТОРІВ, МЕХАНІЗМИ ТА ВИКЛИКИ.....	57
Мельник В. Ю., Стецишин Ю. Б. ГЕТЕРОФУНКЦІОНАЛЬНІ ПОЛІМЕРИ З НИЖНЬОЮ КРИТИЧНОЮ ТЕМПЕРАТУРОЮ РОЗЧИНЕННЯ	61
СЕКЦІЯ ФІЗИЧНА ТА НЕОРГАНІЧНА ХІМІЯ.....	64
Блашко Н.М., Марчук О.В. ФАЗОВА ОРГАНІЗАЦІЯ КВАЗІТЕРНАРНИХ СИСТЕМ $\text{La}_2\text{X}_3 - \text{In}_2\text{X}_3 - \text{GeX}_2$ (X – S, Se) ЗА ТЕМПЕРАТУРИ 770 К.....	65
Андреев Д. А., Коваленко В. Л. ДОСЛІДЖЕННЯ МЕХАНІЗМУ ФОРМУВАННЯ НІТРАТ-ДОПОВАНОГО $\text{A-Ni}(\text{OH})_2$ ДЛЯ ГІБРИДНИХ СУПЕРКОНДЕНСАТОРІВ....	70
Семенча Д., Вальцингер К.О., Плясовська К. А., Варгалюк В.Ф. АНОДНЕ ФОРМУВАННЯ ПЛІВОК MnO_x З ВОДНО-СПИРТОВИХ РОЗЧИНІВ ФУМАРОВОЇ КИСЛОТИ.....	74
Тітова П.М., Саєвич О. В., Білан Л.І. ВИВЧЕННЯ ВПЛИВУ МІКРОХВИЛЬОВОГО ОПРОМІНЕННЯ НА ХІМІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ САХАРИДІВ	77
Маланія М. М. ПОШУКИ МОЖЛИВОСТЕЙ РЕАЛІЗАЦІЇ КОНЦЕПЦІЇ ХІМІЧНИХ «ВІДБИТКІВ ПАЛЬЦІВ» ДЛЯ ЗРАЗКІВ КАМ'ЯНОГО ВУГІЛЛЯ РІЗНОГО ПОХОДЖЕННЯ.....	81
Вдовенко Д. С., Жданюк Н. В ВПЛИВ КИСЛОТНОГО ТРАВЛЕННЯ ТА ІОНООБМІННОЇ ОБРОБКИ НА МІЦНІСТЬ ЛИСТОВОГО СКЛА.....	82
СЕКЦІЯ ХАРЧОВА ХІМІЯ ТА СУЧАСНІ ХАРЧОВІ ТЕХНОЛОГІЇ.....	86
Кондратюк Н.В., Маторіна К.В. РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ ТА АНАЛІЗ ЯКОСТІ МАЙОНЕЗНИХ СОУСІВ НА ОСНОВІ ГЕЛЛАНОВОЇ КАМЕДІ.....	87