МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЖИТОМИРСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ІВАНА ФРАНКА
ВІННИЦЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ПЕДАГОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ МИХАЙЛА КОЦЮБИНСЬКОГО
ВОЛИНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ЛЕСІ УКРАЇНКИ
ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД «УЖГОРОДСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ»
ЗАКАРПАТСЬКИЙ УГОРСЬКИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ФЕРЕНЦА РАКОЦІ ІІ
КАРПАТСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ВАСИЛЯ СТЕФАНИКА
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ «КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЛЬВІВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»
ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»
ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ І. І. МЕЧНИКОВА
ПОЛТАВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ПЕДАГОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ В. Г. КОРОЛЕНКА
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

V ВСЕУКРАЇНСЬКА ІНТЕРНЕТ-КОНФЕРЕНЦІЯ МОЛОДИХ ВЧЕНИХ

«Перспективи хімії в сучасному світі»

НАУКОВИЙ ЗБІРНИК ПРАЦЬ

19 листопада 2025 року, м. Житомир

Житомир 2025

ISBN 978-966-485-308-5
УДК 54:338.45
П 26

Рекомендовано до друку рішенням Вченої ради Житомирського державного університету імені Івана Франка (протокол № 22 від 28 листопада 2025 року).

Рецензенти:
Заблоцька Ольга Сергіївна – доктор педагогічних наук, професор, завідувач кафедри технології медичної діагностики, реабілітації та здоров'я людини Житомирського медичного інституту Житомирської обласної ради;
Дорохов Віктор Іванович – кандидат хімічних наук, доцент, доцент кафедри ґрунтознавства та землеробства Поліського національного університету;
Шелюк Ірина Олександрівна – кандидат хімічних наук, голова циклової комісії хімічних дисциплін Житомирського базового фармацевтичного фахового коледжу Житомирської обласної ради.

V Всеукраїнська інтернет-конференція молодих вчених «Перспективи хімії в сучасному світі» (19 листопада 2025 року). Наук. зб. праць / гол. ред. Роман Денисюк та Олександр Камінський. Житомир: Видавництво ЖДУ ім. І. Франка, 2025. 386 с.

Збірник містить тези доповідей, у яких викладені результати наукових досліджень у галузях неорганічної та фізичної хімії, хімічного матеріалознавства, аналітичної хімії та хімії довкілля, органічної, біоорганічної хімії та хімії високомолекулярних сполук, прикладних аспектів хімії, хімічної технології та особливостей викладання хімії в закладах середньої та вищої освіти. Дослідження виконані в закладах вищої освіти та наукових установах Житомира, Івано-Франківська, Києва, Луцька, Львова, Одеси, Сум, Харкова, Херсону, Хмельницького та Черкас. (Житомир, 19 листопада 2025 року)
Матеріали друкуються в авторській редакції.

Головні редактори
Денисюк Роман Олександрович кандидат хімічних наук, доцент, доцент кафедри хімії Житомирського державного університету імені Івана Франка
Камінський Олександр Миколайович кандидат хімічних наук, доцент, доцент кафедри хімії Житомирського державного університету імені Івана Франка

Редакційна колегія збірника
Авдєєва Ольга Юріївна доктор філософі з галузі Освіта/Педагогіка, доцент, доцент кафедри хімії Житомирського державного університету імені Івана Франка
Євдоченко Олена Сергіївна доктор філософі з галузі Освіта/Педагогіка, доцент, доцент кафедри хімії Житомирського державного університету імені Івана Франка
Писаренко Сніжана Василівна доктор філософії з галузі знань Хімічна та біоінженерія, доцент, доцент кафедри хімії Житомирського державного університету імені Івана Франка
Свиридюк Катерина Петрівна асистент кафедри хімії Житомирського державного університету імені Івана Франка
Чайка Микола Володимирович кандидат хімічних наук, доцент, доцент кафедри хімії Житомирського державного університету імені Івана Франка

Адреса редколегії:
10008, м. Житомир, вул. Університетська, 42,
кафедра хімії Житомирського державного університету імені Івана Франка.

© Житомирський державний університет імені Івана Франка, 2025

ОРГАНІЗАЦІЙНИЙ КОМІТЕТ КОНФЕРЕНЦІЇ

Голова оргкомітету

Киричук Галина Євгеніївна	доктор біологічних наук, професор, ректор Житомирського державного університету імені Івана Франка

Співголови оргкомітету

Жуковська Вікторія Вікторівна	доктор філологічних наук, професор, проректор з наукової і міжнародної роботи Житомирського державного університету імені Івана Франка
Чумак Володимир Валентинович	кандидат хімічних наук, доцент, проректор з навчально-методичної та виховної роботи Житомирського державного університету імені Івана Франка
Анічкіна Олена Василівна	кандидат педагогічних наук, доцент, завідувач кафедри хімії Житомирського державного університету імені Івана Франка

Члени оргкомітету

Блажко Олег Анатолійович	доктор педагогічних наук, професор кафедри хімії та методики навчання хімії, перший проректор з науково-педагогічної роботи Вінницького державного педагогічного університету імені Михайла Коцюбинського
Віленський Володимир Олексійович	доктор хімічних наук, професор, професор кафедри хімії Житомирського державного університету імені Івана Франка
Гринишин Олег Богданович	доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри хімічної технології переробки нафти та газу Національного університету «Львівська політехніка»
Гулай Любомир Дмитрович	доктор хімічних наук, професор, завідувач кафедри-професор кафедри неорганічної та фізичної хімії Волинського національного університету імені Лесі Українки
Гунька Володимир Мирославович	доктор технічних наук, доцент, професор кафедри хімічної технології переробки нафти та газу Національного університету «Львівська політехніка»
Марушко Лариса Петрівна	доктор педагогічних наук, доцент, декан факультету хімії, екології та фармації Волинського національного університету імені Лесі Українки

Сливка Наталія Юріївна	доктор хімічних наук, доцент, завідувач кафедри-професор кафедри органічної та фармацевтичної хімії Волинського національного університету імені Лесі Українки
Тітов Юрій Олександрович	доктор хімічних наук, професор, професор кафедри хімії Житомирського державного університету імені Івана Франка
Чигиринець Олена Едуардівна	доктор технічних наук, професор, професор кафедри фізичної хімії хіміко-технологічного факультету Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Шевченко Ольга Володимирівна	доктор хімічних наук, професор, завідувачка кафедри органічної та фармацевтичної хімії, Одеського національного університету імені І. І. Мечникова
Шиян Надія Іванівна	доктор педагогічних наук, професор, завідувач кафедри хімії та методики викладання хімії Полтавського національного педагогічного університету імені В. Г. Короленка
Авдєєва Ольга Юріївна	доктор філософі з галузі Освіта/Педагогіка, доцент, доцент кафедри хімії Житомирського державного університету імені Івана Франка
Большаніна Світлана Борисівна	кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри теоретичної та прикладної хімії Сумського державного університету
Денисюк Роман Олександрович	кандидат хімічних наук, доцент, доцент кафедри хімії Житомирського державного університету імені Івана Франка
Диченко Тетяна Василівна	кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри теоретичної та прикладної хімії Сумського державного університету
Євдоченко Олена Сергіївна	доктор філософі з галузі Освіта/Педагогіка, доцент, доцент кафедри хімії Житомирського державного університету імені Івана Франка
Камінський Олександр Миколайович	кандидат хімічних наук, доцент, доцент кафедри хімії Житомирського державного університету імені Івана Франка
Микитин Ігор Михайлович	кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри хімії Карпатського національного університету імені Василя Стефаника

Кучерук Сніжана Василівна	доктор філософії з галузі знань Хімічна та біоінженерія, доцент, доцент кафедри хімії Житомирського державного університету імені Івана Франка
Пономарьова Людмила Миколаївна	кандидат хімічних наук, доцент, завідувачка кафедри теоретичної та прикладної хімії Сумського державного університету
Пшеничний Роман Миколайович	кандидат хімічних наук, доцент, доцент кафедри теоретичної та прикладної хімії Сумського державного університету
Сабов Мар'ян Юрійович	кандидат хімічних наук, доцент, доцент кафедри неорганічної хімії Державного вищого навчального закладу «Ужгородський національний університет»
Снігур Денис Васильович	кандидат хімічних наук, доцент, доцент кафедри аналітичної та токсикологічної хімії, Одеського національного університету імені І. І. Мечникова
Федорченко Софія Володимирівна	кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри хімії Карпатського національного університету імені Василя Стефаника
Філеп Михайло Йосипович	кандидат хімічних наук, старший дослідник, доцент кафедри біології та хімії Закарпатського угорського університету імені Ференца Ракоці II
Чайка Микола Володимирович	кандидат хімічних наук, доцент, доцент кафедри хімії Житомирського державного університету імені Івана Франка
Щербакова Тетяна Михайлівна	кандидат хімічних наук, доцент, завідувач кафедри аналітичної та токсикологічної хімії Одеського національного університету імені І. І. Мечникова
Яновська Ганна Олександрівна	кандидат хімічних наук, доцент, доцент кафедри Теоретичної та прикладної хімії Сумського державного університету та Інституту Агрофізики Польської академії наук, Люблін, Польща
Свиридюк Катерина Петрівна	асистент кафедри хімії Житомирського державного університету імені Івана Франка

ЗМІСТ

СЕКЦІЯ 1: НЕОРГАНІЧНА ХІМІЯ ТА ХІМІЧНЕ МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО	
Барановська Т. Г., Камінський О. М., Тітов Ю. О., Денисюк Р. О., Чайка М. В., Євдоченко О. С. *ПОНЯТТЯ ПРО СУЧАСНІ НАНОМАТЕРІАЛИ*	16
Борта Г. Е., Філеп М. Й. *СИНТЕЗ НАНОЧАСТИНОК КУПРУМ (II) СУЛЬФІДУ*	18
Вигівська К. Р., Кусяк Н. В. *СТАБІЛІЗАЦІЯ НАНОЧАСТИНОК ОКСИДІВ МЕТАЛІВ*	19
Дергачов В. Г., Чайка М. В., Камінський О. М., Денисюк Р. О. *ХІМІЧНЕ ТРАВЛЕННЯ ЯК МЕТОД ОБРОБКИ ПОВЕРХОНЬ НАПІВПРОВІДНИКОВИХ МАТЕРІАЛІВ: ОСНОВНІ ПРИНЦИПИ ТА МЕХАНІЗМИ*	21
Дудник І. Ю., Кислова О. В. *ЕКОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ВТОРИННОЇ ПЕРЕРОБКИ ПОЛІВІНІЛХЛОРИДУ*	23
Гере П. Р., Філеп М. Й., Погодін А. І. *ВИРОЩУВАННЯ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ МОНОКРИСТАЛІВ* $CoSO_4 \times 6CH_3NHCONH_2$	25
Гіжицький І. В., Антрапцева Н. М. *СПЕКТРАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ЗНЕВОДНЕННЯ ЦИНКУ-КОБАЛЬТУ(II) ФОСФАТІВ ТЕТРАГІДРАТІВ*	27
Груша М. Ю., Чайка М. В., Камінський О. М., Денисюк Р. О., Чумак В. В. *СУЧАСНІ МЕТОДИ ПОЛІРУВАННЯ НАПІВПРОВІДНИКОВИХ ПОВЕРХОНЬ*	29
Гилюк А. В., Камінський О. М., Кичкирук О. Ю., Денисюк Р. О., Чайка М. В., Євдоченко О. С. *СИНТЕЗ І ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОЛІМЕР-НЕОРГАНІЧНИХ КОМПОЗИТІВ НА ОСНОВІ ГЛИН*	31
Заблоцький О. Я., Камінський О. М., Денисюк Р. О., Чайка М. В., Кучерук С. В. *СИНТЕЗ ПОРОШКІВ* $NiO:Fe_2O_3$ *РІЗНОГО МОЛЬНОГО СПІВВІДНОШЕННЯ МЕТОДОМ СПІВОСАДЖЕННЯ*	33
Ільченко Т. А., Смітюх О. В., Марчук О. В. *КРИСТАЛІЧНА СТРУКТУРА ТВЕРДИХ РОЗЧИНІВ* $Cu_2GaInSe_{4-x}S_x$	35
Котляр Ю. М., Слюсарчук В. А., Денисюк Р. О., Чайка М. В. *КІНЕТИКА ВЗАЄМОДІЇ ТВЕРДИХ РОЗЧИНІВ* $Cd_xHg_{1-x}Te$ *З ТРАВНИКАМИ СИСТЕМИ* I_2 *- ДИМЕТИЛФОРМАМІД*	38
Кучма Б. О., Антрапцева Н. М. *СТАН МОЛЕКУЛ ВОДИ І ФОСФАТНОГО АНІОНУ В СТРУКТУРІ ГІДРАТОВАНИХ ЦИНКУ-МАНГАНУ(II) ФОСФАТІВ*	40
Лакізюк Д. С., Кусяк Н. В. *РІДИННОФАЗНЕ ОДЕРЖАННЯ МЕТАЛОКСИДНИХ НАНОМАТЕРІАЛІВ*	43
Лозова М. В., Денисюк Р. О., Чумак В. В., Маланич Г. П. *ОКИСНО-ВІДНОВНІ ПРОЦЕСИ ПІД ЧАС ТРАВЛЕННЯ НАПІВПРОВІДНИКІВ ТИПУ* A^3B^5 *В ЙОДВМІСНИХ РОЗЧИНАХ*	44
Малюк М. В., Кіосе Т. О., Козакевич Р. Б., Ракитська Т. Л., Голуб О. А. *КОМПЛЕКСИ ВАНАДИЛУ, ІММОБІЛІЗОВАНІ НА ДИСПЕРСНОМУ* SiO_2 *В КАТАЛІТИЧНИХ ПРОЦЕСАХ ОКИСНЕННЯ* SO_2*. СИНТЕЗ, БУДОВА ВЛАСТИВОСТІ*	46
Мельник О. Р., Павлюк В. А., Камінський О. М., Тітов Ю. О., Денисюк Р. О., Чайка М. В., Євдоченко О. С. *СУЧАСНІ КАРБОНОВІ МАТЕРІАЛИ ТА ЇХ ВИКОРИСТАННЯ*	47
Мосійчук В. В., Чайка М. В., Камінський О. М., Денисюк Р. О., Чумак В. В. *ФІЗИКО-ХІМІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ НАПІВПРОВІДНИКОВИХ МАТЕРІАЛІВ ТА ЇХ ВПЛИВ НА ФУНКЦІОНАЛЬНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ СУЧАСНИХ ЕЛЕКТРОННИХ ПРИЛАДІВ*	49
Микитенко А. М., Синицький В. І., Денисюк Р. О., Чайка М. В. *КІНЕТИКА ВЗАЄМОДІЇ ТВЕРДИХ РОЗЧИНІВ* $Zn_xCd_{1-x}Te$ *З ТРАВНИКАМИ СИСТЕМИ* I_2 *-*	51

ДИМЕТИЛФОРМАМІД	
Наумець Н. В., Камінський О. М., Тітов Ю. О., Денисюк Р. О., Чайка М. В., Ходюк О. В. *СИНТЕЗ АЛЮМІНАТІВ РІЗНОГО ФУНКЦІОНАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ*	53
Нюкало В. О., Віленський В. О., Денисюк Р. О. *КІНЕТИКА ВЗАЄМОДІЇ ІЛЬМЕНІТОВОГО КОНЦЕНТРАТУ З СОЛЯМИ КАЛІЮ*	55
Орос Р. М., Сабов М. Ю. *ОДЕРЖАННЯ СТАБІЛЬНИХ НАНОЧАСТИНОК МІДІ*	57
Палій Ю. О., Микитин І. М., Прокіпчук І. В. *ВИЗНАЧЕННЯ ТОЧКИ НУЛЬОВОГО ЗАРЯДУ TiO_2, ДОПОВАНОГО Nd*	59
Пух М. О., Смітюх О. В., Літковець С. В., Янчук О. М. *КРИСТАЛОХІМІЧНИЙ АНАЛІЗ НАНОЧАСТИНОК ZnS СИНТЕЗОВАНИХ ЕЛЕКТРОХІМІЧНИМ МЕТОДОМ*	60
Семенюк В. О., Бодашко С. А., Піскач Л. В. *ТРИАНГУЛЯЦІЯ КВАЗІПОТРІЙНОЇ СИСТЕМИ $Ag_2S–Bi_2S_3–SnS_2$*	63
Тімощук О. О., Чайка М. В., Чайка Ю. Ю., Чумак В. В. *ВІД СЕНСОРІВ ДО НАНОТЕРАПІЇ: РОЛЬ НАПІВПРОВІДНИКОВИХ МОНОКРИСТАЛІВ У СУЧАСНІЙ МЕДИЦИНІ*	66
Ткаченко А. В., Антрапцева Н. М. *ПРОЦЕС І ПРОДУКТИ ВЗАЄМОДІЇ В СИСТЕМІ $P_2O_5 – H_2O$*	68
Форкош В. В., Філеп М. Й., Погодін А. І., Сабов М. Ю. *ОДЕРЖАННЯ НАНОЧАСТИНОК У СИСТЕМІ $LaFeO_3 – LaCoO_3$*	71
Хімчик О. С., Бідовська К. В., Кусяк Н. В. *ЗАЛЕЖНІСТЬ ОПТИЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ НАНОЧАСТИНОК ВІД ЇХ РОЗМІРУ ТА ФОРМ*	73
СЕКЦІЯ 2: АНАЛІТИЧНА ХІМІЯ ТА ХІМІЯ ДОВКІЛЛЯ	
Балан В. В., Жуковецька О. М., Снігур Д. В. *АТОМНО-АБСОРБЦІЙНЕ ВИЗНАЧЕННЯ Ni(II) ПІСЛЯ МІЦЕЛЯРНО-ЕКСТРАКЦІЙНОГО КОНЦЕНТРУВАННЯ ЙОГО ДИМЕТИЛГЛІОКСИМАТУ*	76
Басюк В. О., Кичкирук О. Ю., Анічкіна О. В. *ПРИРОДНІ МІНЕРАЛИ ЯК ЕФЕКТИВНІ СОРБЕНТИ ДЛЯ ВИЛУЧЕННЯ ІОНІВ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ ІЗ ВОДНИХ РОЗЧИНІВ*	77
Боднар Ю. П., Макров А. В., Голець С. Я., Дубенська Л. О. *ВОЛЬТАМПЕРОМЕТРИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ПАПАВЕРИНУ ЗА ДОПОМОГОЮ ПЛАНАРНОЇ КОМІРКИ З РОБОЧИМ АЛМАЗНИМ ЕЛЕКТРОДОМ*	78
Данилюк С. М., Камінський О. М., Віленський В. О., Чайка М. В., Кучерук С. В., Ходюк О. В. *ВИЗНАЧЕННЯ pH ВОДОЙМ ПОТЕНЦІОМЕТРИЧНИМ МЕТОДОМ*	80
Демчук А. В., Снігур Д. В. *ПРОДУКТИ ВЗАЄМОДІЇ ХРОМУ(VI) З ДЕЯКИМИ ПОХІДНИМИ СОЛЕЙ 6,7-ДИГІДРОКСИБЕНЗОПІРИЛІЮ ТА ЇХ ЗАСТОСУВАННЯ В МІЦЕЛЯРНІЙ ЕКСТРАКЦІЇ,*	82
Гайдарли К. Д., Камінський О. М., Кичкирук О. Ю., Денисюк Р. О., Чайка М. В., Євдоченко О. С. *ДОСЛІДЖЕННЯ ЗМІНИ ВМІСТУ ЦУКРІВ У ПРОЦЕСІ ФОТОДЕСТРУКЦІЇ ГАЗОВАНИХ НАПОЇВ МЕТОДОМ РЕФРАКТОМЕТРІЇ*	83
Гончаренко Л. І., Диченко Т. В. *ВПЛИВ РОСЛИННОГО ОПАДУ НА СКЛАД ТА ВЛАСТИВОСТІ ҐРУНТІВ*	85
Гусаченко Д. А., Камінський О. М., Тітов Ю. О., Денисюк Р. О., Кучерук С. В., Ходюк О. В. *ВИЗНАЧЕННЯ МУТНОСТІ ПРИРОДНИХ ВОД МЕТОДОМ ТУРБИДИМЕТРІЇ*	86
Ганський В. В., Кичкирук О. Ю., Анічкіна О. В. *ОСНОВИ МОЛЕКУЛЯРНОЇ СПЕКТРОСКОПІЇ. СУЧАСНИЙ СТАН*	88
Зозуля І. І., Євдоченко О. С. *ФІЗИКО-ХІМІЧНІ ПОКАЗНИКИ ЖИРУ В РОСЛИННИХ ОЛІЯХ, ЯКІСНІ ТА КІЛЬКІСНІ МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ*	89
Іванюк Д. Р., Кичкирук О. Ю. *ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ НАНОМАТЕРІАЛІВ У ЗАБЕЗПЕЧЕННІ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ*	91

Кіртока І. А., Левкович Я. Ю., Арабаджи М. В., Снігур Д. В. *ПРЯМЕ АТОМНО-АБСОРБЦІЙНЕ ВИЗНАЧЕННЯ Pb(II) В МОЛОЧНИХ ПРОДУКТАХ З АТОМІЗАТОРОМ ГРАФІТОВА "ВТУЛКА-ФІЛЬТР"*	93
Кочура Є. К., Крупська А., Большаніна С. Б. *ДОСЛІДЖЕННЯ ВМІСТУ МІКРОЕЛЕМЕНТІВ В ГРУНТАХ, ЯКІ ЗАЗНАЛИ ВПЛИВУ БОЙОВИХ ДІЙ*	94
Метничук Х. Д., Чонтош Т. О., Фершал М. В. *ОРТО-АЗО ЗАМІЩЕНЕ ПОХІДНЕ ФЕНІЛБОРОНОВОЇ КИСЛОТИ НА ОСНОВІ НЕЙТРАЛЬНОГО ЧЕРВОНОГО ЯК МОЛЕКУЛЯРНИЙ СЕНСОР*	96
Омельчук А. О., Кичкирук О. Ю., Анічкіна О. В. *ВПЛИВ УЛЬТРАЗВУКОВОЇ ОБРОБКИ НА АДСОРБЦІЙНІ ВЛАСТИВОСТІ САПОНІТУ ЩОДО КАТІОНІВ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ*	98
Рачинська В. С., Кичкирук О. Ю. *АНАЛІЗ ВОДНИХ ОБ` ЄКТІВ З ВИКОРИСТАННЯМ НЕОРГАНІЧНИХ СОРБЕНТІВ*	100
Рингач Я. С., Габрей І. І., Трухим М. В., Дмухайло А. В., Дубенська Л. О. *ПОЛЯРОГРАФІЧНЕ ВИЗНАЧЕННЯ СИНТЕТИЧНОГО ХАРЧОВОГО БАРВНИКА КОРИЧНЕВОГО НТ*	102
Ткач А. О., Антрапцева Н. М., Біла Г. М. *ОСОБЛИВОСТІ КІЛЬКІСНОГО ВИЗНАЧЕННЯ Co(II) І Zn У СКЛАДІ ТВЕРДИХ РОЗЧИНІВ ФОСФАТІВ*	104
Трухим М. В., Дмухайло А. В., Комарницька В. Ю., Салагуб Т. В., Дубенська Л. О. *ВОЛЬТАМПЕРОМЕТРИЧНЕ ВИЗНАЧЕННЯ ДІАМАНТОВОГО ЧОРНОГО З ВИКОРИСТАННЯМ ДРУКОВАНОЇ КОМІРКИ З РОБОЧИМ АЛМАЗНИМ, ДОПОВАНИМ БОРОМ, ЕЛЕКТРОДОМ*	106
Шаран Т. О., Кичкирук О. Ю., Петренко І. В. *ДОСЛІДЖЕННЯ АНТРОПОГЕННОГО ВПЛИВУ НА КИСЛОТНІСТЬ ҐРУНТІВ*	109
СЕКЦІЯ 3: ОРГАНІЧНА, БІООРГАНІЧНА ХІМІЯ ТА ХІМІЯ ВМС	
Варава І. Д., Авдєєва О. Ю. *ДІЯ ПОВЕРХНЕВО-АКТИВНИХ РЕЧОВИН ШАМПУНІВ НА БУДОВУ ТА СТАН ВОЛОССЯ*	112
Ващук Д. С., Салієва Л. М., Сливка Н. Ю. *СИНТЕЗ 1-ЗАМІЩЕНИХ 2-{[(1-БЕНЗИЛ-1Н-1,2,3-ТРИАЗОЛ-4-ІЛ)МЕТИЛ]ТІО}-4-АРИЛІДЕН-1Н-ІМІДАЗОЛ-5(4Н)-ОНІВ*	114
Горобей К. М., Листван В. В. *ХІМІЧНІ, ФІЗИЧНІ ТА ФІЗИКО-ХІМІЧНІ МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ БУДОВИ (1-ПЕНТИЛ)ТРИФЕНІЛФОСФОНІЙ БРОМІДУ*	116
Горобей К. М., Євдоченко О. С., Листван В. В. *АНТИБАКТЕРІАЛЬНА АКТИВНІСТЬ СОЛЕЙ ФОСФОНІЮ*	118
Довбня А. І., Віленський В. О. *ФУНКЦІАЛІЗОВАНІ ПОЛІМЕРИ В СУЧАСНОМУ ЗАСТОСУВАННІ НА ПРИКЛАДІ СТРУМОПРОВІДНИХ ПОЛІМЕРІВ*	120
Іванків О. С., Салієва Л. М., Сливка Н. Ю., Марушко Л. П. *ЗРУЧНИЙ ВАРІАНТ СИНТЕЗУ C^5-МОНО(ГІДРОКСИМЕТИЛ)ІМІДАЗО[2,1-b]ТІАЗОЛІВ*	122
Климук М. П., Дяченко О. Д., Сливка Н. Ю. *СИНТЕЗ НОВИХ ФЛУОРЕНІЛМЕТИЛОКСИКАРБОНІЛЬНО ЗАХИЩЕНИХ АМІНОВМІСНИХ СПОЛУК*	124
Криворучко М. В., Шевченко С. В. *ДОСЛІДЖЕННЯ ФІЗИКО-ХІМІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ТА ХАРЧОВОЇ ЦІННОСТІ ШОКОЛАДУ ВІТЧИЗНЯНОГО ВИРОБНИЦТВА*	126
Куля Д. Ю., Кут Д. Ж., Онисько М. Ю., Кут М. М. *ЙОДОЦИКЛІЗАЦІЯ 3-АЛІЛ-2-ЦИНАМІЛТІОХІНАЗОЛІН-4(3Н)-ОНУ*	128
Курило З. О., Панишева О. В. *ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ ЛАКТОЗИ У ФАРМАЦІЇ*	130
Мудрак О. А., Салієва Л. М., Сливка Н. Ю. *СИНТЕЗ 3-ЗАМІЩЕНИХ (Z)-5-(2-ОКСО-2-АРИЛЕТИЛІДЕН)-2-ТІОКСОІМІДАЗОЛІДИН-4-ОНІВ*	132
Радченко А. Е., Большаніна С. Б. *ВПЛИВ ЕКСТРАКТІВ ЛІКАРСЬКИХ РОСЛИН*	134

НА БІОАКТИВНІ ВЛАСТИВОСТІ КОМПОЗИТІВ НА ОСНОВІ ГІДРОКСИАПАТИТУ	
Радченко О. І., Пономарьова Л. М. *ФОРМУВАННЯ ДВОКОМПОНЕНТНИХ НАНОФІБРИЛ ІЗ ПОЛІМОЛОЧНОЇ КИСЛОТИ ТА ХІТОЗАНУ МЕТОДОМ ЕЛЕКТРОСПІНІНГУ*	137
Сергієнко Ю. М., Корній Ю. Є., Сливка Н. Ю. *СИНТЕЗ НОВИХ N-ЗАМІЩЕНИХ-9Н-ПУРИН-6-АМІНІВ*	139
Таран К. Д., Шевченко С. В. *ВПЛИВ РІЗНИХ ЧИННИКІВ НА ЦУКРИСТІСТЬ БУРЯКІВ*	141
Шаран Т. О., Листван В. В. *ПРАКТИЧНЕ ЗАСТОСУВАННЯ ОРГАНІЧНИХ РОЗЧИННИКІВ*	143
СЕКЦІЯ 4: ФІЗИЧНА ХІМІЯ ТА ХІМІЧНА ТЕХНОЛОГІЯ	
Александров Д. Ю., Гринишин О. Б. *РОЗРОБЛЕННЯ НОВИХ ТИПІВ БІТУМНИХ РУЛОННИХ ПОКРІВЕЛЬ*	145
Артемчук Т. С., Камінський О. М., Тітов Ю. О., Денисюк Р. О., Ходюк О. В. *ФІЗИКО-ХІМІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ФЕРИТІВ ЗІ СТРУКТУРОЮ ШПІНЕЛІ*	147
Білоус І. В., Червінський Т. І. *ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ ЗМІНИ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ СИНТЕТИЧНОЇ МОТОРНОЇ ОЛИВИ MOBIL 1 5W-50 ДЛЯ БЕНЗИНОВИХ ДВИГУНІВ ПІСЛЯ ВИКОРИСТАННЯ У ЛЕГКОВОМУ АВТОМОБІЛІ*	149
Блашко Н. М., Рудиш М. Я., Марчук О. В. *ЗОННО-ЕНЕРГЕТИЧНА СТРУКТУРА СУЛЬФІДУ* $Ce_{1.5}Tb_{1.5}Ga_{1.67}S_7$	151
Ванельчук І. М., Камінський О. М., Тітов Ю. О., Анічкіна О. В. *АДСОРБЦІЯ БАРВНИКІВ ПОВЕРХНЕЮ ЦИНКОВОГО ФЕРИТУ*	154
Василевська В. В., Камінський О. М., Тітов Ю. О., Денисюк Р. О., Чайка М. В., Євдоченко О. С. *ВИКОРИСТАННЯ ФЕРИТНИХ НАНОМАТЕРІАЛІВ*	156
Вашкеба Ю. І., Хаснаш Б. О., Камінський О. М., Тітов Ю. О., Денисюк Р. О., Чайка М. В., Євдоченко О. С. *ДОСЛІДЖЕННЯ СКЛАДНООКСИДНИХ МАТЕРІАЛІВ МЕТОДАМИ РЕНТГЕНІВСЬКОЇ СПЕКТРОСКОПІЇ*	158
Деркач А. *ДОСЛІДЖЕННЯ ФІЗИКО-ХІМІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ПРИРОДНИХ БІТУМІВ*	160
Добринський О. В., Камінський О. М., Денисюк Р. О., Чайка М. В., Кучерук С. В., Ходюк О. В. *НЕОРГАНІЧНІ НАНОМАТЕРІАЛИ ЗІ СТРУКТУРОЮ ШПІНЕЛІ*	163
Іванюк М. М., Камінський О. М., Кучерук С. В., Тітов Ю. О., Панасюк Д. Ю., Ходюк О. В. *КІНЕТИКА ВИЛУЧЕННЯ КРИСТАЛІЧНОГО ФІОЛЕТОВОГО БАРВНИКА З ВОДНИХ РОЗЧИНІВ*	165
Казимирів П. І., Червінський Т. І. *ОЧИЩЕННЯ ВІДПРАЦЬОВАНИХ НАФТОВИХ ОЛИВ МЕТОДОМ КОАГУЛЯЦІЇ У ПРИСУТНОСТІ ПОБУТОВИХ ПАВ*	167
Качан В. Ю., Камінський О. М., Денисюк Р. О., Віленський В. О., Чайка М. В., Панасюк Д. Ю. *ВПЛИВ ЛЕГУВАННЯ ІОНАМИ МЕТАЛІВ НА ФОТОКАТАЛІТИЧНУ АКТИВНІСТЬ* $CdAl_2O_4$	170
Коваленко О. А., Кузнецова Т. Ю., Куленко О. А. *ХІМІЧНИЙ СКЛАД РОСЛИННОЇ СИРОВИНИ, ЩО ВИКОРИСТОВУЄТЬСЯ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА ПЛИТНИХ ІЗОЛЯЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ*	172
Копач А. М., Гринишин О. Б. *ВИВЧЕННЯ ОСНОВНИХ ЗАКОНОМІРНОСТЕЙ ПРОЦЕСУ ПІРОЛІЗУ ВІДПРАЦЬОВАНОЇ МІНЕРАЛЬНОЇ МОТОРНОЇ ОЛИВИ М-10ДМ*	177
Куліш А. М., Чайка М. В., Камінський О. М., Денисюк Р.О., Свиридюк К. П. *РОЛЬ ОКИСНО-ВІДНОВНИХ ПРОЦЕСІВ У ТРАВЛЕННІ НАПІВПРОВІДНИКОВИХ МОНОКРИСТАЛІВ*	179
Ніколенко А. О., Поліщук К. Ю., Камінський О. М., Тітов Ю. О., Денисюк Р. О., Чайка М. В., Євдоченко О. С. *АДСОРБЦІЯ БАРВНИКІВ АЛЮМІНАТАМИ*	181

Німець П. О., Гринишин О. Б. *СКЛАД ТА ВЛАСТИВОСТІ ТВЕРДИХ НАФТОВИХ ВІДКЛАДІВ*	183
Новосельцев І. М., Константинова А. С., Калугін О. М. *МІЖЧАСТИНКОВІ ВЗАЄМОДІЇ ТА КОЛИВАЛЬНІ СПЕКТРИ В ІОН-МОЛЕКУЛЯРНИХ СИСТЕМАХ НА ОСНОВІ ЙОННИХ РІДИН ТА ДИМЕТИЛСУЛЬФОКСИДУ*	184
Олексюк О. Ю., Камінський О. М., Денисюк Р. О., Віленський В. О., Панасюк Д. Ю., Анічкіна О. В. *ФІЗИКО-ХІМІЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ШПІНЕЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ*	187
Поліщук О. А., Омельчук Ю. О., Кусяк Н. В. *КВАНТОВІ ЕФЕКТИ В НАНОРОЗМІРНОМУ МАГНЕТИТІ*	189
Поляк О. Є., Гунька В. М. *РЕОЛОГІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ БІТУМУ, МОДИФІКОВАНОГО ДОБАВКАМИ НА ОСНОВІ ПАР*	191
Протасевич Я. М., Чайка М. В., Камінський О. М., Денисюк Р. О. *СКЛАД І ПРИЗНАЧЕННЯ ОСНОВНИХ КОМПОНЕНТІВ ТРАВИЛЬНИХ РОЗЧИНІВ ДЛЯ ОБРОБКИ ПОВЕРХНІ НАПІВПРОВІДНИКІВ*	193
Радух А. Я., Червінський Т. І., Гринишин К. О. *ПЕРЕРОБЛЕННЯ ПОЛІСТИРОЛЬНИХ ВІДХОДІВ НИЗЬКОТЕМПЕРАТУРНИМ ПІРОЛІЗОМ*	195
Романчук О. О., Топільницький П. І. *ЗАХИСНА ДІЯ БІООРГАНІЧНИХ ІНГІБІТОРІВ У СЕРЕДОВИЩІ СВІТЛИХ НАФТОПРОДУКТІВ УКРАЇНСЬКИХ НАФТ*	198
Ростовецька Д. П., Біла Г. М. *РОЗРОБКА ЛІНІЙКИ КОСМЕТИЧНИХ ЗАСОБІВ ДЛЯ ПРОБЛЕМНОЇ ШКІРИ З ОЛІЄЮ ШИПШИНИ ТА САЛІЦИЛОВОЮ КИСЛОТОЮ*	201
Румак О. О., Камінський О. М., Тітов Ю. О., Віленський В. О., Денисюк Р. О., Чайка М. В. *ДОСЛІДЖЕННЯ СТРУКТУРИ ФЕРИТІВ МЕТОДОМ ІЧ-СПЕКТРОСКОПІЇ*	204
Севрук Є. С., Чайка М. В., Камінський О. М., Свиридюк К. П., Чумак В. В. *ВПЛИВ ТЕМПЕРАТУРИ ТА КОНЦЕНТРАЦІЇ КОМПОНЕНТІВ ТРАВИЛЬНОГО РОЗЧИНУ НА ЗАКОНОМІРНОСТІ ОБРОБКИ ПОВЕРХНІ НАПІВПРОВІДНИКОВИХ МОНОКРИСТАЛІВ*	206
Сідун Г. О., Гунька В. М., Куліков Д. О. *ВПЛИВ КИСЛОТНОГО ЧИСЛА В'ЯЖУЧОГО НА СТАБІЛЬНІСТЬ БІТУМНИХ ЕМУЛЬСІЙ*	208
Топузов С. А., Камінський О. М., Денисюк Р. О., Чайка М. В., Кучерук С. В. *ПРОЦЕСИ АДСОРБЦІЇ БАРВНИКІВ З ВОДНИХ РОЗЧИНІВ*	210
Хімчик О. С., Камінський О. М., Тітов Ю. О., Віленський В. О., Панасюк Д. Ю., Ходюк О. В. *ВИКОРИСТАННЯ НАНОФЕРИТІВ НА ОСНОВІ КУПРУМУ*	212
Цюпа М. Р., Камінський О. М., Денисюк Р. О., Чайка М. В., Кучерук С. В. *ФОТОКАТАЛІЗ КОНГО ЧЕРВОНОГО НЕОРГАНІЧНИМИ КАТАЛІЗАТОРАМИ*	214
Чудеса К. В., Пшеничний Р. М. *СТРУКТУРА ТА ЕЛЕКТРОФІЗИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ZnO ЛЕГОВАНОГО МІДДЮ*	216
Шевчук Д. М., Камінський О. М., Тітов Ю. О., Віленський В. О., Чайка М. В., Кучерук С. В. *ЗОЛЬ-ГЕЛЬ СИНТЕЗ НАНОФЕРИТІВ*	219
Шищак М. М., Топільницький П. І. *ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ ДЕЕМУЛЬГАТОРІВ З РІЗНИМИ ЗА ПРИРОДОЮ РОЗЧИННИКАМИ*	221
Шищак М. М., Топільницький П. І. *ВПЛИВ ДЕПРЕСОРА НА РОЗПОДІЛ ЗА ЧИСЛОМ ВУГЛЕЦЕВИХ АТОМІВ У ПАРАФІНИСТИХ ВІДКЛАДАХ*	223
Юзифишин В. М., Знак Ю. З., Гринишин О. Б. *НИЗЬКОТЕМПЕРАТУРНИЙ ПІРОЛІЗ НАФТОВИХ ШЛАМІВ, УТВОРЕНИХ НА НАФТОПЕРЕРОБНИХ ЗАВОДАХ*	226
<u>СЕКЦІЯ 5: ПРИКЛАДНІ АСПЕКТИ ХІМІЇ (ФАРМАЦЕВТИЧНА, КОСМЕТИЧНА, ХАРЧОВА, КРИМІНАЛІСТИЧНА, КОМП'ЮТЕРНА, МЕДИЧНА ХІМІЇ, АГРОХІМІЯ)</u>	

Kokoshko F. I., Kliuiev H. A. *THE RELEVANCE OF SCIENTIFIC RESEARCH IN THE FIELD OF FORENSIC CHEMISTRY*	229
Бобрівник О. О., Кротенко В. В. *ОПТИМІЗАЦІЯ МЕТОДІВ АНАСТЕЗІЇ ДЛЯ ХІРУРГІЧНИХ ВТРУЧАНЬ ДРІБНИХ ТВАРИН*	231
Вініченко А. І., Пономарьова Л. М. *СИНТЕЗ БІОРОЗКЛАДНИХ КОМПОЗИТІВ З ТЕХНОЛОГІЧНОЇ КОНОПЛІ*	233
Гелеверя А. О., Коваль Н. В., Євсєєва Л. В., Коваленко С. М., Кириченко О. В., Калугін О. М. *ОПТИМІЗАЦІЯ ШЛЯХІВ СИНТЕЗУ НОВОГО ІНГІБІТОРУ ПРОТЕАЗИ M_{PRO} SARS-COV-2 З УРАХУВАННЯМ ЕКОЛОГІЧНОЇ СКЛАДОВОЇ ПРОЦЕСУ*	237
Горбик А. С., Євдоченко О. С. *ТЕОРЕТИЧНИЙ ОГЛЯД МЕТОДІВ ДОСЛІДЖЕННЯ ВМІСТУ ЖИРУ В МОЛОЦІ*	239
Горобей К. М., Авдєєва О. Ю. *ОСОБЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ФЛУОРЕСЦЕНТНИХ БАРВНИКІВ У ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ МИЛА РУЧНОЇ РОБОТИ*	241
Горобей К. М., Свиридюк К. П. *ОСНОВНІ ДЖЕРЕЛА ТА МАТЕРІАЛИ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА ГОРМОНАЛЬНИХ ПРЕПАРАТІВ*	243
Гусаченко Д. А., Авдєєва О. Ю. *ВПЛИВ ТЕМПЕРАТУРИ ЗБЕРІГАННЯ НА В'ЯЗКІСТЬ І КОЛІР КРЕМІВ ДЛЯ ТІЛА*	245
Драглюк В. М., Салєба Л. В., Кузнєцов С. І. *ДОСЛІДЖЕННЯ СКЛАДУ ЛАМЕЛЯРНИХ ЕМУЛЬСІЙ*	247
Дризик В. Ю., Авдєєв С. В. *ВПЛИВ ПЕСТИЦИДІВ НА РОДЮЧІСТЬ ҐРУНТІВ ТА МІКРОБІОЛОГІЧНУ АКТИВНІСТЬ*	249
Зимнік Д. В., Авдєєва О. Ю. *ВИКОРИСТАННЯ ПРИРОДНИХ АНТИОКСИДАНТІВ У КОСМЕТИЧНІЙ ПРОДУКЦІЇ*	251
Зимнік Д. В., Свиридюк К. П. *НЕГАТИВНИЙ ВПЛИВ ГІГРОСКОПІЧНОСТІ ТВЕРДИХ ЛІКАРСЬКИХ ФОРМ ФАРМАЦЕВТИЧНИХ ПРЕПАРАТІВ ТА НУТРИЦЕВТИКІВ*	253
Карпішенко Д. В., Сікач А. В., Побігай Г. А. *АЛЬГІНАТНІ ПЛІВКИ МЕДИЧНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ*	255
Колос Є. М., Євдоченко О. С. *СИНТЕЗ АНТОЦІАНІВ МЕТОДОМ ЕКСТРАКЦІЇ: ТЕОРЕТИЧНІ АСПЕКТИ*	258
Левковська А. О., Євдоченко О. С., Камінський О. М. *ВИЗНАЧЕННЯ ВМІСТУ ЧЕРВОНИХ БАРВНИКІВ У ГАЗОВАНИХ НАПОЯХ*	260
Маслов Д. В., Голуб О. А. *КРИТИЧНИЙ АНАЛІЗ ПІДХОДІВ ДО ОПТИМІЗАЦІЇ QSAR МОДЕЛЕЙ ПРИ ПОШУКУ НОВИХ ЛІКАРСЬКИХ ПРЕПАРАТІВ*	263
Миронюк М. О., Антрапцева Н. М., Біла Г. М. *СИНТЕЗ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ НОВИХ ПОДВІЙНИХ ФОСФАТІВ МІКРОЕЛЕМЕНТІВ У РОСЛИННИЦТВІ*	264
Муквич В. Ю., Пшеничний Р. М. *МЕТОДИ СТАБІЛІЗАЦІЇ НАНОЧАСТИНОК*	267
Невмержицька Г. В., Євдоченко О. С. *ВИЗНАЧЕННЯ ВМІСТУ ХАРЧОВИХ БАРВНИКІВ У КОЛЬОРОВИХ ГАЗОВАНИХ НАПОЯХ*	269
Піскунов І. І., Калугін О. М. *РОЛЬ ВОДНЕВИХ ЗВ'ЯЗКІВ У ФОРМУВАННІ СТРУКТУРНИХ ТА ДИНАМІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ЙОННОЇ РІДИНИ ЕТИЛАМОНІЙ ФОРМІАТ*	271
Поліщук І. І., Кусяк Н. В. *СУЧАСНІ АСПЕКТИ ЗАСТОСУВАННЯ НАНОМАТЕРІАЛІВ У ФАРМАЦІЇ*	273
Порхун К. В., Камінський О. М., Денисюк Р. О., Кучерук С. В. *СОРБЦІЯ ПАРАЦЕТАМОЛУ КАЛІЙ ТИТАНАТОМ*	277
Присяжнюк А. О., Євдоченко О. С. *ФІЗИКО- ХІМІЧНІ МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ ЯКОСТІ МЕДУ*	279

Протасевич Я. М., Авдєєва О. Ю. *ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ЗАСОБІВ ДЛЯ ДОГЛЯДУ ЗА ШКІРОЮ ОБЛИЧЧЯ*	281
Рацук К. С., Рацук М. Є. *ПРИГОТУВАННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ ГЛАЗУРОВАНИХ СИРКІВ*	283
Романчук М. В., Євдоченко О. С. *МЕТОДИ ВИЗНАЧЕННЯ БЕНЗОАТІВ У ПРОДУКТАХ ХАРЧУВАННЯ*	284
Руденко А. Б., Камінський О. М., Кичкирук О. Ю., Чайка М. В., Євдоченко О. С., Кучерук С. В. *ФОТОКАТАЛІЗ ХАРЧОВИХ БАРВНИКІВ*	286
Свінціцька А. С., Авдєєва О. Ю. *РОЛЬ КИСЛОТ У КОСМЕТИЧНОМУ ДОГЛЯДІ ЗА ШКІРОЮ*	288
Севрук Є. С., Авдєєва О. Ю. *ФІЗИКО-ХІМІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ШАМПУНІВ ДЛЯ ВОЛОССЯ ПІСЛЯ КЕРАТИНОВОГО ВИРІВНЮВАННЯ*	290
Севрук Є. С., Свиридюк К. П. *СТРУКТУРНІ ОСОБЛИВОСТІ ПАРАЦЕТАМОЛУ ТА РИЗИКИ ЙОГО ТОКСИЧНОСТІ ПРИ ПЕРЕДОЗУВАННІ*	292
Сергійчук О. О., Кусяк Н. В. *ЕФЕКТ ЛОТОСА НАНОМАТЕРІАЛІВ*	294
Сергійчук О. О., Чайка М. В., Денисюк Р. О., Свиридюк К. П., Чумак В. В. *ФОРМУВАННЯ МІКРОСТРУКТУРИ ПОВЕРХНІ НАПІВПРОВІДНИХ МАТЕРІАЛІВ У ПРОЦЕСІ ХІМІЧНОЇ ОБРОБКИ*	296
Степанюк А. Р., Євдоченко О. С. *МЕТОДИ ВИЗНАЧЕННЯ ВОЛОГОСТІ В ХЛІБОБУЛОЧНИХ ВИРОБАХ*	298
Сухачова М. О., Шевченко С. В. *ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ФОТОПОЛІМЕРНИХ ПЛАСТМАС ДЛЯ 3D ДРУКУ НА ТВЕРДІ ТКАНИНИ ЗУБА ТА ПАРАДОНТУ У ПАЦІЄНТІВ З ПОРУШЕННЯМ СНЩС*	300
Шаран Т. О., Авдєєва О. Ю. *РЕАКЦІЯ ШКІРИ НА КОСМЕТИКУ: ЕФЕКТИВНІ СПОСОБИ ШВИДКОЇ ДОПОМОГИ*	302
Шаран Т. О., Свиридюк К. П. *ШЛЯХИ ЗАПОБІГАННЯ НЕГАТИВНОМУ ВПЛИВУ ЛІКАРСЬКИХ ПРЕПАРАТІВ НА ШЛУНКОВО-КИШКОВИЙ ТРАКТ*	304
Шокаленко О. В., Большаніна С. Б. *МЕМБРАННИЙ ЕЛЕКТРОЛІЗ РОЗЧИНІВ, ЗАБРУДНЕНИХ ІОНАМИ КАДМІЮ*	306
Федолізде Д. О., Євдоченко О. С. *ФІЗИКО-ХІМІЧНІ МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ М'ЯСА ТА М'ЯСНИХ ВИРОБІВ*	308
СЕКЦІЯ 6: ОСОБЛИВОСТІ ВИКЛАДАННЯ ХІМІЇ В ЗАКЛАДАХ СЕРЕДНЬОЇ ТА ВИЩОЇ ОСВІТИ	
Басюк В. О., Авдєєва О. Ю. *ЗАСТОСУВАННЯ ВІРТУАЛЬНИХ ЛАБОРАТОРІЙ ДЛЯ ФОРМУВАННЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ УМІНЬ ЗДОБУВАЧІВ ВИЩОЇ ОСВІТИ*	311
Біла Г. М., Антрапцева Н. М., Єфімчук Д. М. *ЗМІНА АКЦЕНТІВ У ПІДГОТОВЦІ ФАХІВЦІВ В УМОВАХ ВОЄННОГО СТАНУ*	313
Ванельчук І. М., Авдєєва О. Ю. *РОЛЬ ЦИФРОВІЗАЦІЇ В ХІМІЧНІЙ ОСВІТІ*	315
Вигівська К. Р., Анічкіна О. В., Романишина Л. М. *ВІД РЕАКЦІЇ ДО ІДЕЇ: ІСТОРИКО-НАУКОВИЙ ВИМІР УКРАЇНСЬКОЇ ХІМІЇ ЯК ДЖЕРЕЛО ПРОФЕСІЙНОГО СТАНОВЛЕННЯ МАЙБУТНІХ ХІМІКІВ*	316
Деркач А. *ФОРМУВАННЯ КРИТИЧНОГО МИСЛЕННЯ УЧНІВ У ПРОЦЕСІ ВИВЧЕННЯ ХІМІЇ*	319
Жданюк І. М., Авдєєва О. Ю., Авдєєв С. В. *ОСОБЛИВОСТІ ОРГАНІЗАЦІЇ ДОСЛІДНИЦЬКОЇ ДІЯЛЬНОСТІ ЗДОБУВАЧІВ ОСВІТИ У ХОДІ ВИВЧЕННЯ ХІМІЇ*	324
Зозуля І. І., Авдєєва О. Ю. *МУЛЬТИМЕДІЙНІ ЗАСОБИ ЯК ІНСТРУМЕНТ АКТИВІЗАЦІЇ ПІЗНАВАЛЬНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ В ХОДІ ВИВЧЕННЯ ХІМІЇ*	326
Іванюк Д. Р., Авдєєва О. Ю., Анічкіна О. В. *ЦИФРОВІ ІНСТРУМЕНТИ ЯК ЗАСІБ УДОСКОНАЛЕННЯ ВИКЛАДАННЯ ХІМІЇ В ЗАКЛАДІ ВИЩОЇ ОСВІТИ*	328
Качан В. Ю., Авдєєва О. Ю. *ІНТЕГРАЦІЯ ЦИФРОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ У ПРОЦЕС*	330

ВИКЛАДАННЯ ХІМІЇ В ЗАКЛАДІ ВИЩОЇ ОСВІТИ	
Кирпа Б. І., Філеп М. Й. *ТЕМА ЗАБРУДНЕННЯ ПОВІТРЯ В ОСВІТІ 5-6 КЛАСІВ*	332
Ковальчук Н. Д., Анічкіна О. В. *ІНКЛЮЗИВНА ХІМІЧНА ОСВІТА ЯК ПРОСТІР РОЗВИТКУ ПІЗНАВАЛЬНОЇ АКТИВНОСТІ ТА НАУКОВОЇ КУЛЬТУРИ УЧНЯ*	334
Ковшун Л. О., Хижан О. І., Хижан А. О., **Нестерова К. А.** *ІННОВАЦІЙНІ ПІДХОДИ ДО ВИКЛАДАННЯ ОРГАНІЧНОЇ ХІМІЇ У ПІДГОТОВЦІ ФАХІВЦІВ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ*	337
Криворучко А. В. *ОРГАНІЗАЦІЙНІ ФОРМИ ПОЗАКЛАСНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ З ХІМІЇ ЯК ЗАСІБ ФОРМУВАННЯ ПРЕДМЕТНИХ КОМПЕТЕНТНОСТЕЙ СТАРШОКЛАСНИКІВ*	339
Левковська А. О., Авдєєва О. Ю. *РОЛЬ ЕЛЕКТРОННИХ ДИДАКТИЧНИХ ІГОР У ПРОЦЕСІ ВИВЧЕННЯ ХІМІЇ*	341
Мельник Д. О., Анічкіна О. В. *ПОДОЛАННЯ ОСВІТНІХ ВТРАТ ХІМІЧНОЇ ОСВІТИ, ЯК ОСНОВА АДАПТАЦІЙНОГО ЕТАПУ ПРОФЕСІЙНОЇ ПІДГОТОВКИ МАЙБУТНІХ ХІМІКІВ*	343
Невмержицька Г. В., Авдєєва О. Ю. *ВІЗУАЛІЗАЦІЯ ХІМІЧНОГО ЕКСПЕРИМЕНТУ ЗА ДОПОМОГОЮ МУЛЬТИМЕДІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ*	346
Нестерчук О. Ю., Ходаківський О. В., Анічкіна О. В. *СИНЕРГІЯ ПРОЄКТНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ ТА КРИТИЧНОГО МИСЛЕННЯ У ФОРМУВАННІ КУЛЬТУРИ РАЦІОНАЛЬНОГО ХІМІЧНОГО ПІЗНАННЯ УЧНІВ ЗАКЛАДІВ ЗАГАЛЬНОЇ СЕРЕДНЬОЇ ОСВІТИ*	348
Ніколаєва А. В., Анічкіна О. В. *ХІМІЯ ЯК ПРОСТІР ФОРМУВАННЯ ДОСЛІДНИЦЬКОГО СТАВЛЕННЯ ДО ЖИТТЯ УЧНІВ У КОНТЕКСТІ КОНЦЕПЦІЇ НОВОЇ УКРАЇНСЬКОЇ ШКОЛИ*	350
Олексюк О. Ю., Авдєєва О. Ю. *ЦИФРОВІ РЕСУРСИ ЯК ЕФЕКТИВНИЙ ІНСТРУМЕНТ ФОРМУВАННЯ ПРОФЕСІЙНИХ КОМПЕТЕНТНОСТЕЙ ІЗ ХІМІЇ*	353
Омельчук А. О., Авдєєва О. Ю. *ПЕРСПЕКТИВИ ТА ВИКЛИКИ ВИКОРИСТАННЯ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ У ХІМІЧНІЙ ОСВІТІ*	356
Павліченко О. С., Авдєєва О. Ю. *ВИКОРИСТАННЯ ІНТЕРАКТИВНИХ ЛЕПБУКІВ НА УРОКАХ ХІМІЇ В 7 КЛАСІ*	358
Паво Т. В., Молнар К. А. *МОЖЛИВОСТІ РОЗВИТКУ ЦИФРОВИХ КОМПЕТЕНТНОСТЕЙ У ВИКЛАДАННІ ХІМІЇ В 7 КЛАСІ, ЗОКРЕМА ПІД ЧАС ВИВЧЕННЯ АБСТРАКТНИХ ПОНЯТЬ*	360
Поліщук І. І., Романишина Л. М., Анічкіна О. В. *ТРАНСФОРМАЦІЯ ЗМІСТУ ПІДГОТОВКИ МАЙБУТНІХ ХІМІКІВ: ВІД НАУКОВИХ* РОЗРОБОК ДО НОВИХ ОСВІТНІХ СТРАТЕГІЙ	363
Порхун К. В., **Авдєєва О. Ю.** *ЗАСТОСУВАННЯ СЕРВІСІВ GOOGLE У СУЧАСНОМУ ОСВІТНЬОМУ СЕРЕДОВИЩІ*	365
Приймак Т. О., Романишина Л. М., Анічкіна О. В. *ОСВІТА СТАЛОГО РОЗВИТКУ У ДЗЕРКАЛІ НЕОРГАНІЧНОЇ ХІМІЇ: ІНТЕГРАЦІЯ ПРИНЦИПІВ ЗЕЛЕНОЇ ХІМІЇ У ПРОФЕСІЙНУ ПІДГОТОВКУ МАЙБУТНІХ ХІМІКІВ*	367
Раєць В. В., **Авдєєва О. Ю.** *РОЛЬ МУЛЬТИМЕДІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ У СТВОРЕННІ ІНТЕРАКТИВНОГО ОСВІТНЬОГО СЕРЕДОВИЩА З ХІМІЇ*	369
Римар О. О., **Авдєєва О. Ю.** *ВИКОРИСТАННЯ МУЛЬТИМЕДІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ З МЕТОЮ АКТИВІЗАЦІЇ ІНТЕРАКТИВНОГО НАВЧАННЯ ХІМІЇ*	371
Римар О. О., **Анічкіна О. В.** *СУЧАСНІ ЦИФРОВІ ІНСТРУМЕНТИ ВИВЧЕННЯ ХІМІЧНИХ ОСВІТНІХ КОМПОНЕНТ У ЗАКЛАДІ ВИЩОЇ ОСВІТИ*	373
Самійлик М. В., Романишина Л. М., Анічкіна О. В. *ВІД ЕКСПЕРИМЕНТУ ДО ДОСЛІДУ: МОДЕРНІЗАЦІЯ НАУКОВОЇ СКЛАДОВОЇ ПРОФЕСІЙНОЇ ПІДГОТОВКИ МАЙБУТНІХ ХІМІКІВ*	375
Семерик О. С. *НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ГРУПОВОЇ РОБОТИ*	377

В УМОВАХ ДИСТАНЦІЙНОГО НАВЧАННЯ	
Хижан О. І., Хижан А. О., **Ковшун Л. О.** *ДИСТАНЦІЙНИЙ КУРС З ФІЗИЧНОЇ І КОЛОЇДНОЇ ХІМІЇ ЯК СКЛАДОВА ПРОФЕСІЙНОЇ ПІДГОТОВКИ МАЙБУТНІХ АГРОНОМІВ*	379
ІМЕННИЙ ПОКАЖЧИК	381

СЕКЦІЯ 1:

Неорганічна хімія та хімічне матеріалознавство

ПОНЯТТЯ ПРО СУЧАСНІ НАНОМАТЕРІАЛИ

Барановська Тетяна Григорівна,
здобувач першого (бакалаврського) рівня вищої освіти ІІІ курсу chem@ukr.net
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Камінський Олександр Миколайович,
кандидат хімічних наук, доцент, alexkamin@ukr.net
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Тітов Юрій Олександрович,
доктор хімічних наук, професор, chem@ukr.net
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Денисюк Роман Олександрович,
кандидат хімічних наук, доцент, denisuk@zu.edu.ua
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Чайка Микола Володимирович,
кандидат хімічних наук, доцент, laridae92@gmail.com
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Євдоченко Олена Сергіївна,
доктор філософії з галузі знань 01 Освіта/Педагогіка, доцент кафедри хімії,
yevdochenko-o@zu.edu.ua
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Префікс «нано» походить від грецького слова «νᾶνος» (що означає «дуже малий») і використовується для позначення нанорозмірного діапазону (1-100 нм), який є характерним для частинок і матеріалів із відповідними структурними параметрами. Зазвичай матеріал відносять до наноматеріалів, якщо його розміри перебувають у межах 1-100 нм, а властивості суттєво відрізняються від аналогічних характеристик об'ємних (масових) матеріалів. Для наочного порівняння: товщина людської волосини становить близько 60 000-100 000 нм, діаметр еритроцита – приблизно 7000 нм, товщина аркуша паперу – близько 75 000 нм, радіус подвійної спіралі ДНК дорівнює близько 1 нм, тоді як радіус ізольованого нейтрального атома становить 30-300 пм (трильйонних часток метра). Таким чином, радіус атома перевищує радіус його ядра (1-10 фм) приблизно у 10 000 разів і є меншим ніж 1/1000 довжини хвилі видимого світла (400-700 нм) [1-2].

Окремі наночастинки (НЧ), принаймні з одним виміром у діапазоні 1-20 нм, зазвичай являють собою однодоменну кристалічну решітку, що складається з надзвичайно малих нанокристалів без меж зерен. Унаслідок цього наночастинки характеризуються значною об'ємною часткою атомів, розташованих на поверхні кристала, та нижчим ступенем кристалічності порівняно з масовими матеріалами. Як результат, наночастинки (окремі нанокристали) демонструють суттєво відмінні фізико-хімічні властивості, що залежать від їхньої форми та розміру зокрема, температури плавлення та термічної стабільності, електричної й теплопровідності, магнітних, оптичних, каталітичних і біоактивних характеристик.

Структура НЧ, як правило, складається з ядра (власне наночастинки), оболонки, яка хімічно відрізняється від ядра, та поверхневого шару, що може бути функціоналізований шляхом приєднання малих молекул – іонів металів, поверхнево-активних речовин чи полімерів. Тому значна частина сучасних досліджень у галузі нанотехнологій зосереджена на визначенні критичних розмірів, нижче яких властивості матеріалу відрізняються від

характеристик його об’ємного аналога, а також на розробленні простих, економічно доцільних, екологічно безпечних і масштабованих методів синтезу наноматеріалів.

Серед наноматеріалів можна виділити:

Нульвимірні (0D) – наночастинки, кластери, квантові точки, у яких усі три виміри мають нанорозмір (<100 нм). Вони проявляють квантово-розмірні ефекти та мають унікальні оптичні й електронні властивості.

Одновимірні (1D) – нанострижні, нанодроти, нанотрубки, що мають лише один вимір у нанодіапазоні. Такі матеріали характеризуються високою електропровідністю та механічною міцністю.

Двовимірні (2D) – наноплівки, нанопластини, графен та інші шари атомної товщини, які мають два великі виміри та один нанорозмірний. Вони демонструють високу теплопровідність, гнучкість і прозорість.

Тривимірні (3D) – наноструктуровані об’єми, нанопористі матеріали, нанокомпозити, що складаються з наночастинок, впроваджених у матрицю. Їх властивості визначаються структурою, розміром та взаємодією нанофаз.

Тобто сучасних наноматеріалів існує величезна кількість.

1. Barhoum A., García-Betancourt M. L., Jeevanandam J., et al. Review on Natural, Incidental, Bioinspired, and Engineered Nanomaterials: History, Definitions, Classifications, Synthesis, Properties, Market, Toxicities, Risks, and Regulations. *Nanomaterials*. 2022. Vol. 12, 177. https://doi.org/10.3390/nano12020177

2. Akpan E. I., Shen X., Wetzel B., Friedrich K. Design and Synthesis of Polymer Nanocomposites. In Polymer Composites with Functionalized Nanoparticles: Synthesis, Properties, and Applications; Elsevier: Amsterdam. The Netherlands. 2018. P. 47-83.

СИНТЕЗ НАНОЧАСТИНОК КУПРУМ (II) СУЛЬФІДУ

Борта Генріетта Елемірівна,
здобувач вищої освіти IV курсу, barta.henrietta.b22km@kmf.org.ua
Закарпатський угорський університет імені Ференца Ракоці II, Україна

Філеп Михайло Йосипович,
кандидат хімічних наук, старший дослідник, filep.mihaly@kmf.org.ua
Закарпатський угорський університет імені Ференца Ракоці II, Україна

Наночастинки купрум (II) сульфіду, викликають значний інтерес завдяки своїм винятковим оптичним, електричним і тепловим характеристикам. CuS характеризується p-типом провідності і сильним поглинанням у ближньому ІЧ діапазоні. У зв'язку з цим CuS є перспективними кандидатами для різноманітних технологічних та біомедичних застосувань [1]. Можливість регулювати стехіометричний склад, розмір і морфологію цих наночастинок дозволяє контролювати їх функціональні властивості. Це напряму пов'язано від умов синтезу, тому розробка методів синтезу наночастинок є актуальною.

Синтез наночастинок CuS здійснювали з водного розчину. Як джерело іонів купруму використано $CuCl_2$ (0.1 М), сульфід-іонів – тіоацетамід (CH_3CSNH_2, 0.1 М). Для уникнення комплексоутворення pH розчину встановлювали 0.1 М NaOH. Підготовлено 2 серії по 4 розчини, змішаних у співвідношенні 1 ($CuCl_2$) : 2 (CH_3CSNH_2). У обох серіях розчинів pH встановлений на значеннях 8, 10, 12 і 14. І серія після встановлення pH була залишена для осадження, а II серія була додатково нагріта до 75 °C протягом 30 хв. Осадження відбувалось протягом 3-5 днів. Після фільтрування одержані осади сушили в ексикаторі.

Аналіз одержаних порошків здійснювали методом рентгенівського фазового аналізу (дифрактометр Proto AXRD, CuK_α-випромінювання, Ni-фільтр, 0.5 с експозиція) з метою встановлення впливу pH, температури на розмір кристалітів.

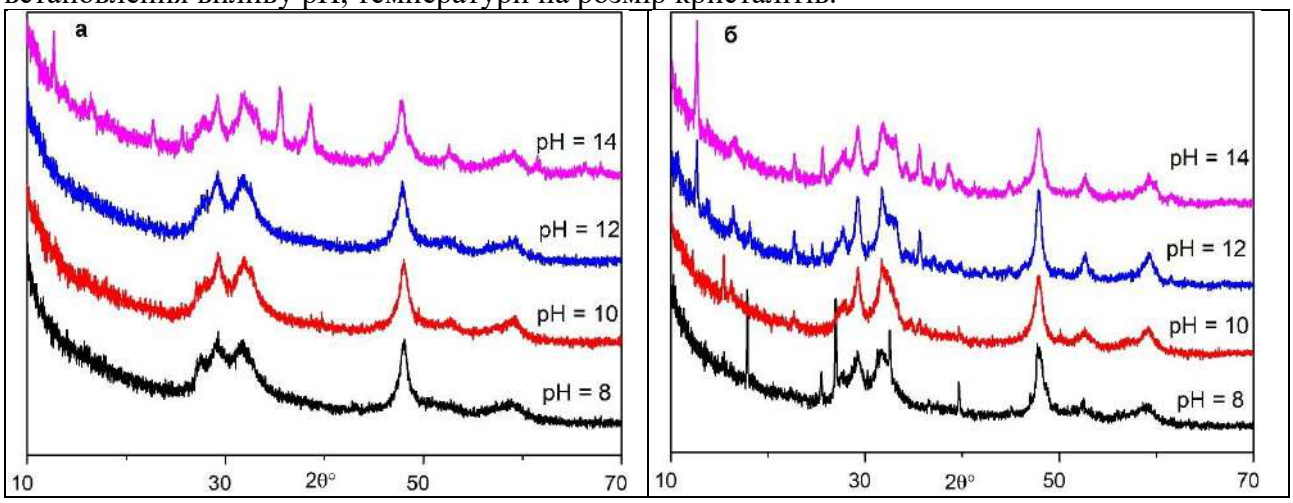


Рис. 1. Дифрактограми порошків CuS одержаних без (а) та з нагріванням (б)

В обох випадках встановлено утворення CuS, однак для I серії зразки з pH 8-12 є фазово однорідними, і лише для pH = 14 спостерігаються домішкові рефлекси. Всі зразки II серії крім фази CuS містять домішкові рефлекси. За результатами аналізу, не вдалось проіндексувати дані піки, але встановлено, що вони не відносяться до $Cu_2CO_3(OH)_2$ і $Cu(OH)_2$.

1. Sarkar N., Mishra S.R., Gadore V., Ahmaruzzaman Md., Recent advances of CuS-based nanocomposites: Synthesis, properties, and multifaceted applications in energy, environment, and biomedical domains, *Journal of Molecular Structure*. 2025. V. 1323. 140733.

СТАБІЛІЗАЦІЯ НАНОЧАСТИНОК ОКСИДІВ МЕТАЛІВ

Вигівська Карина Романівна,
здобувач вищої освіти І курсу, *vygovskaakarina2@gmail.com*
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Кусяк Наталія Володимирівна,
кандидат хімічних наук, доцент, *nkusyak@ukr.net*
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Стабілізацію наночастинок оксидів металів використовують для запобігання їх агломерації або осіданню та отриманню частинок необхідних розмірів з певними властивостями у середовищі протягом необхідного часу [1]. Досягти цього можна за допомогою електростатичної, стеричної або електростеричної стабілізації, а також шляхом хімічної поверхневої модифікації.

Під час електростатичної стабілізації частинки несуть однойменний поверхневий заряд, за рахунок чого відбувається відштовхування, яке перешкоджає зближенню. Стеричний механізм передбачає використання адсорбованих або зв'язних полімерів, що створюють фізичний бар'єр, таким чином ускладнюючи контакти між частинками. Цей метод є більш ефективнішим під час дії високих іонних сил, де електростатична стабілізація слабшає. Електростеричний тип стабілізації поєднує у собі два попередніх методи із використання заряду та полімерного шару. Даний метод поширений у біомедичних та інженерних галузях. Існують певні фактори, які впливають на стабільність. Розглядаючи середовище, можна сказати, що певний pH змінює поверхневий заряд оксидів. Іонна сила розчину впливає на електростатичне екранування: при високій іонній силі електростатична стабілізація слабшає, тому необхідна стерична. Концентрація частинок змінює ймовірність стікання. Температура також впливає на кінетику агрегації та адсорбцію лігандів. Щодо сторонніх речовин, наявність природних органічних речовин або ж білків вони здатні адсорбуватися, таким чином змінюючи поверхневі властивості. Процес стабілізації можна розділити на декілька етапів. Перш за все необхідно визначити вимоги до системи (середовище, біосумісність, іонна сила та робочу температуру). На наступному етапі відбувається підбір стратегії стабілізації – тут обирають тип стабілізації (електростатична, стерична чи електростерична). Далі обирають та готують покриття, після чого його наносять. Наступним етапом відбувається очищення та стабілізація. Для стабілізації використовують різні агенти: полімери (полівініловий спирт, поліетиленгліколь, поліакрилова кислота), органічні кислоти (цитрат, олеїнова кислота), силанольні сполуки, а також природні біополімери (хітозан, декстран). Вибір стабілізатора залежить від типу оксиду металу, середовища дисперсії та передбачуваного застосування наноматеріалу.

Для прикладу, стабілізаційний нанооксид CeO_2 являє собою ще один тип моно-наночастинок біомедичного призначення завдяки своїм незвичайним антиоксидантним властивостям та протираковій активності. Основою активності наночастинок CeO_2 є термодинамічна ефективність окисно-відновного циклу між атомами Церію в різних ступенях окиснення (III) та (IV) на їх поверхні, а також унікальна здатність поглинати та вивільняти кисень. Розподіл заряду на катіонах Церію після утворення кисневих вакансій схематично зображено на рисунку. Варто зазначити, що ці наночастинки можуть проявляти прооксидантні ефекти при нижчих значеннях pH та високих концентраціях, а дані, знайдені в літературі, свідчать про те, що залежно від процедури їх синтезу, дозування та часу експозиції, вони можуть викликати цитотоксичні ефекти [2].

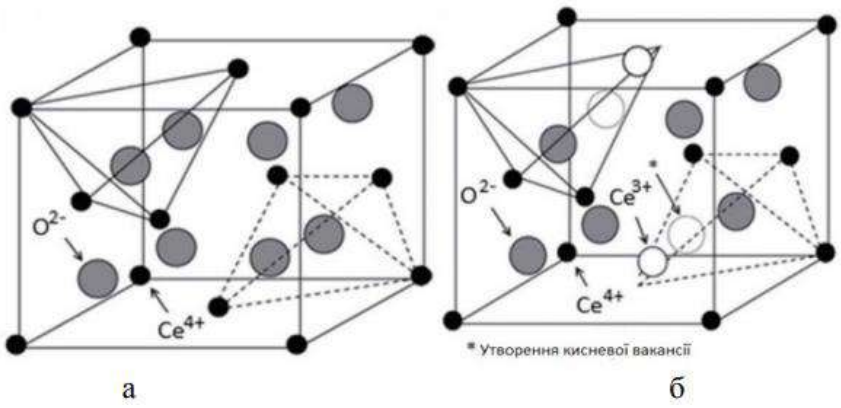


Рис. Утворення кисневих вакансій під час розподілу заряду у катіоні Церію [2].

Стабілізація наночастинок оксидів металів є ключовим етапом у забезпеченні їхньої колоїдної стійкості, збереженні функціональних властивостей та запобіганні агломерації. Через високу поверхневу енергію наночастинки мають тенденцію злипатися, що призводить до зменшення питомої поверхні та втрати унікальних фізико-хімічних характеристик.

1. Cartwright, A. A Review of Metal and Metal-Oxide Nanoparticle Coating. *Agronomy*. 2020. *10*(7). 1018.

2. Negrescu A. M. Metal Oxide Nanoparticles: Review of Synthesis, Properties and Applications. *Journal of Functional Biomaterials*.2022. *3*(4). 274.

ХІМІЧНЕ ТРАВЛЕННЯ ЯК МЕТОД ОБРОБКИ ПОВЕРХОНЬ НАПІВПРОВІДНИКОВИХ МАТЕРІАЛІВ: ОСНОВНІ ПРИНЦИПИ ТА МЕХАНІЗМИ

Дергачов Валерій Геннадійович,
здобувач вищої освіти IV курсу, valeronbro666@gmail.com
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Чайка Микола Володимирович,
кандидат хімічних наук, доцент кафедри хімії, laridae92@gmail.com
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Камінський Олександр Миколайович,
кандидат хімічних наук, доцент кафедри хімії, alexkamin@ukr.net
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Денисюк Роман Олександрович,
кандидат хімічних наук, доцент кафедри хімії, denisuknet@ukr.net
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Хімічне травлення є одним із найважливіших процесів у технології обробки напівпровідникових матеріалів, який забезпечує формування гладких, бездефектних і структурно досконалих поверхонь. Цей метод широко застосовується на різних етапах виготовлення мікро- та наноелектронних структур, оптичних компонентів, сенсорів і мембран, де якість поверхні визначає функціональні властивості кінцевого виробу.

Процес хімічного травлення ґрунтується на вибірковій взаємодії поверхні напівпровідника з травильним розчином, у результаті чого утворюються розчинні або леткі продукти реакції. Швидкість і якість травлення залежать від хімічного складу розчину, структури поверхні, типу домішок і наявності оксидних або пасивуючих шарів.

Хімічні системи для травлення зазвичай містять окисник (водні розчини HNO_3, H_2O_2, $(NH_4)_2Cr_2O_7$ тощо), який ініціює поверхневе окиснення матеріалу, та розчинник або комплексоутворювач (розчини HBr, HCl, H_3PO_4, органічні кислоти), що забезпечує видалення продуктів реакції з поверхні. Додатково застосовують стабілізатори, поверхнево-активні речовини та органічні розчинники для регулювання швидкості травлення та рівномірності обробки.

Механізм процесу включає послідовні етапи: адсорбцію реагентів на поверхні, окисно-відновні реакції, утворення проміжних сполук і десорбцію продуктів у розчин. Важливу роль відіграють параметри середовища — температура, pH, концентрації компонентів, а також наявність дефектів кристалічної ґратки, що визначають локальну активність поверхні.

Для досягнення контрольованого результату необхідно забезпечити кінетичну рівновагу між швидкістю хімічної реакції та масопереносу продуктів у розчин. Надмірно агресивні травильні системи можуть спричинити мікрошорсткість, тоді як слабкі — уповільнення процесу або неповне видалення нерозчинних продуктів реакції з поверхні. Тому вибір оптимального складу травильного розчину здійснюють експериментально з урахуванням матеріалу, орієнтації кристалічних площин кристалу та призначення полірованого зразку.

Таким чином, хімічне травлення виступає не лише методом очищення, але й тонкокерованим процесом структуроутворення в технологіях напівпровідникових приладів. Розуміння його механізмів та впливу технологічних параметрів дозволяє підвищити точність, відтворюваність і якість полірованих поверхонь, що відкриває перспективи для створення високочутливих сенсорів, мікрочипів та оптоелектронних пристроїв нового покоління.

1. Romano L., Vila-Comamala J., Jefimovs K. Etching: The Art of Semiconductor Micromachining. *Micromachines.* 2025. *16*(2), 213. https://doi.org/10.3390/mi16020213

2. Znati S., Wharwood J., Tezanos K. G., Li, X., Mohseni, P. K. Metal-assisted chemical etching beyond Si: applications to III–V compounds and wide-bandgap semiconductors. *Nanoscale.* 2024. *16*. P. 10901–10946. https://doi.org/10.1039/D4NR00857J

3. Левченко І. В. Хімічне розчинення кристалів InAs, InSb та GaAs, GaSb у травильних композиціях $(NH_4)_2Cr_2O_7$–HBr : дис…на здобуття канд. хім. наук. Львів : Національний університет «Львівська політехніка». 2018.

ЕКОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ВТОРИННОЇ ПЕРЕРОБКИ ПОЛІВІНІЛХЛОРИДУ

Дудник Іван Юрійович
здобувач вищої освіти другого (магістерського) рівня, dudnikvana42@gmail.com
Київський національний університет технологій та дизайну, Україна

Кислова Ольга Володимирівна
кандидат біологічних наук, доцент кафедри хімічних технологій та ресурсозбереження, kievkislova@gmail.com
Київський національний університет технологій та дизайну, Україна

Полівінілхлорид (ПВХ) широко використовується для виготовлення промислової продукції різного призначення (для будівництва, транспорту, електротехніки, медицини) та товарів широкого вжитку. Перевагами цього матеріалу є довговічність, доступність, невисока собівартість, можливість повторної переробки. Проте великі обсяги виробництва ПВХ та технологічні труднощі вторинної переробки створюють негативний вплив на навколишнє середовище [1]. Технічні добавки (наприклад, модифікатори на основі акрилатів або бутадієнових полімерів) також ускладнюють повторне використання поліолефіну, оскільки змінюють властивості переробленого ПВХ, знижуючи його механічні характеристики. Наявність цих добавок робить **вторинний ПВХ менш однорідним,** його якість знижується, а переробка вимагає складної очистки. Крім того, при неправильній утилізації (спалюванні, захороненні) добавки перетворюються на джерело **важких металів, токсичних органічних сполук та діоксинів** [2, 3]**.**

Термін розкладу ПВХ у природі триває сотні років. Оскільки полімер містить близько 57% хлору (по масі), в результаті його термічного розкладу виділяються різні хлоровмісні органічні сполуки (зокрема, діоксини, фурани), а також хлороводень. До складу ПВХ також входить велика кількість добавок для покращення функціональних властивостей. Проте використання добавок має дві сторони: вони покращують властивості матеріалу, але водночас значно ускладнюють його повторне використання та збільшують екологічні ризики [4].

Для підвищення гнучкості та еластичності полімерного матеріалу застосовують пластифікатори. Зокрема, широкого розповсюдження набули фталати. Через їх високу здатність до активної міграції у навколишнє середовище виникають проблеми нейророзвитку, формування репродуктивних аномалій. Відходи ПВХ можуть містити включення металів. Традиційно використовувалися солі свинцю, кадмію, олова, які необхідно видаляти під час підготовки сировини. Ці речовини можуть викликати засмічення обладнання та погіршувати якість грануляту, а також здатні накопичуватись у грунті та воді. Для покращення механічних властивостей матеріалу та зниження вартості виробів у складі ПВХ можуть міститися наповнювачі, такі як тальк, силікати, крейда. Барвники та пігменти також містять сполуки важких металів (свинець у червоних та жовтих пігментах, хром у зелених). Для зменшення горючості використовуються антипірени, до складу яких входять броморганічні сполуки, що при згорянні виділяють діоксини та фурани - одні з найнебезпечніших токсинів [4,5].

Вторинна переробка дозволяє не лише зменшити кількість відходів, а й зекономити використання первинної сировини та енергетичних ресурсів. Гранулят із вторинного ПВХ є одним із найбільш універсальних матеріалів, що застосовується для виготовлення широкого спектру виробів технічного та побутового призначення. Загальна характеристика ПВХ добавок та основні проблеми при їх утилізації наведено в таблиці 1.

Стабілізатори (сполуки свинцю або кальцію) додаються для підвищення термостабільності та довговічності матеріалу. Сучасними альтернативами є кальцій-цинкові стабілізатори або стабілізатори на основі органічних сполук, але й вони можуть бути проблемними при переробці [5].

Таблиця 1. Характеристика ПВХ добавок

Група добавок у складі ПВХ	Функції добавок	**Проблеми при утилізації**
Пластифікатори (фталати, адипати)	Надають еластичність, м'якість, гнучкість виробам (шланги, плівки, штучна шкіра)	Міграція у довкілля; токсичність; ендокринні дизраптори; забруднення ґрунту й води
Термостабілізатори (свинець, кадмій, олово, Ca-Zn, органотинні сполуки)	Захист від термодеструкції під час переробки та експлуатації	Важкі метали токсичні, накопичуються в довкіллі; при спалюванні утворюють небезпечні сполуки
Наповнювачі та модифікатори (крейда, силікати, акрилати, бутадієнові полімери)	Поліпшують механічні властивості, знижують вартість	Знижують якість вторинного ПВХ; утруднюють переробку через неоднорідність складу
Барвники та пігменти (свинцеві, хромові, органічні барвники)	Декоративні властивості	Джерело важких металів; токсичність; проблеми при спалюванні та захороненні
Антипірени (бром- та фосфорорганічні сполуки)	Зменшення горючості, підвищення безпеки виробів	При термічному розкладі виділяють діоксини, фурани, токсичні гази

Наявність наведених добавок значно ускладнює процес утилізації ПВХ, погіршує якість вторинної сировини та завдає значної шкоди довкіллю. Для запобігання негативному впливу продуктів розкладу ПВХ на оточуюче середовище можна запропонувати наступні напрямки:

1) удосконалення технологій вторинної переробки полімерного матеріалу;
2) використання менш токсичних стабілізаторів та пластифікаторів, які не містять сполук важких металів та токсичних органічних сполук;
3) **введення в склад первинної сировини певної** частки вторинного ПВХ-продукту;
4) створення **замкнених циклів переробки ПВХ.**

Наявність різних добавок у ПВХ забезпечує матеріалу потрібні експлуатаційні властивості (еластичність, стабільність, колір, негорючість). Пластифікатори, термостабілізатори, барвники та інші модифікуючі речовини підвищують функціональні властивості матеріалу, але водночас знижують якість вторинної сировини та формують потенційно небезпечні забруднювачі під час переробки або знищення виробів. Це зумовлює потребу у відмові від токсичних компонентів та впровадженні екологічно безпечних альтернативних стабілізаторів, пластифікаторів і пігментів, що сприятиме підвищенню ефективності замкненого циклу переробки ПВХ та зменшенню його негативного впливу на довкілля.

1. Lewandowski K., Skórczewska K. A brief review of poly (vinyl chloride) (PVC) recycling. *Polymers*. 2022. 14(15). P. 30-35.
2. Суберляк О. В., Баштанник П. І. Технологія переробки полімерних та композиційних матеріалів. Л.: Вид-во "Растр-7". 2007. 376 с.
3. Мікульонок І. О. Технологічні основи перероблення полімерних матеріалів: навч. посіб. К. : КПІ ім. Ігоря Сікорського, Вид-во «Політехніка»». 2017. 324 с.
4. Elgharbawy A. Polyvinyl chloride additives and applications. *Journal of Risk Analysis and Crisis Response.* 2022. 12(3). P. 143-151.
5. Lahl U., Zeschmar-Lahl B. More than 30 Years of PVC Recycling in Europe A Critical Inventory. *Sustainability*. 2024. 16(9). P. 38-54.

ВИРОЩУВАННЯ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ МОНОКРИСТАЛІВ $CoSO_4$× $6CH_3NHCONH_2$

Гере Петра Робертівна,
здобувач вищої освіти IV курсу, gere.petra.b22km@kmf.org.ua
Закарпатський угорський університет імені Ференца Ракоці II, Україна

Філеп Михайло Йосипович,
кандидат хімічних наук, старший дослідник, filep.mihaly@kmf.org.ua
Закарпатський угорський університет імені Ференца Ракоці II, Україна

Погодін Артем Ігорович,
кандидат хімічних наук, старший дослідник, artem.pogodin@uzhnu.edu.ua
ДВНЗ «Ужгородський національний університет, Україна

Протягом останніх років спостерігається стійкий інтерес до галузі вирощування монокристалів через зростання попиту на кристалічні матеріали для сучасних технологічних застосувань у галузі напівпровідників, твердотільних лазерів, нелінійної оптики, фоточутливих матеріалів [1]. Сульфати d-металів привертають значну увагу завдяки широкому спектру своїх властивостей, однак основною сферою застосування є селективні оптичні фільтри та детектори. У даній роботі представлено вирощування та дослідження кристалів $CoSO_4$× $6CH_3NHCONH_2$.

Монокристали $CoSO_4$× $6CH_3NHCONH_2$ вирощували з водного розчину методом повільного випаровування. Вихідний розчин готували з використанням $CoSO_4$×$7H_2O$ та метилсечовини $CH_3NHCONH_2$ із співвідношенням компонентів 1 : 6. pH розчину доводили до 2 за допомогою H_2SO_4. Через 40 днів були отримані оптично прозорі та однорідні кристали фіолетового кольору.

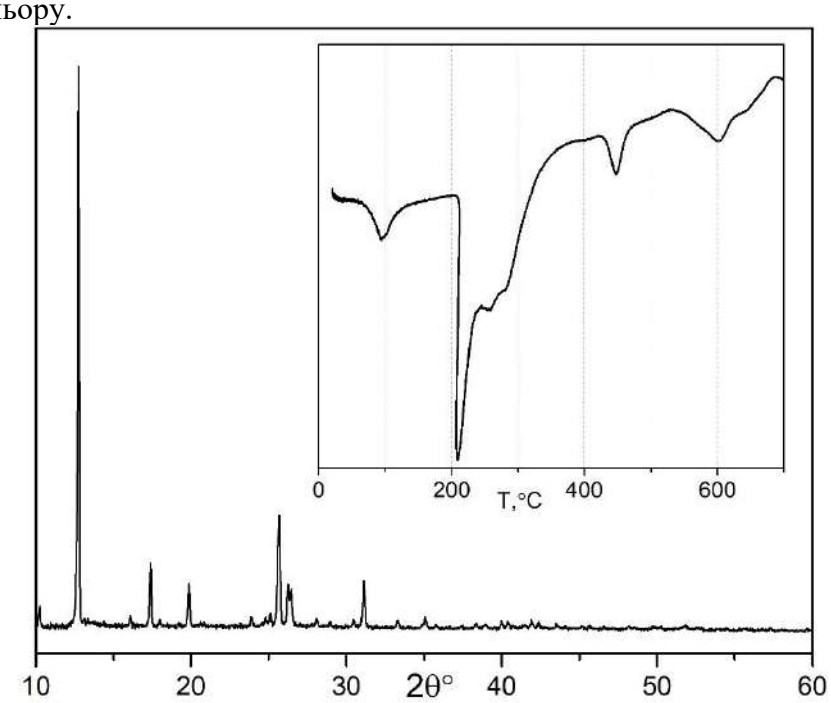


Рис. 1. Дифрактограма кристалу $CoSO_4$× $6CH_3NHCONH_2$, на вставці представлено термограму кристалу

Методом РФА (дифрактометр Proto AXRD, CuK_α-випромінювання, Ni-фільтр, 0.5 с експозиція) досліджено фазовий склад вирощених кристалів (Рис.1). Дифрактограма $CoSO_4$×$6CH_3NHCONH_2$ не містить рефлексів вихідних компонентів та добре узгоджується з

літературними даними [2]. Таким чином встановлено фазову однорідність вирощених кристалів. Методом ДТА (хромель-алюмелева термопара, нагрів у атмосфері повітря) встановлено температурну поведінку вирощених кристалів. На термограмі $CoSO_4 \times 6CH_3NHCONH_2$ спостерігається 5 чітких ендотермічних ефектів, що вказує не ступінчастий розклад кристалу. Природа даних ефектів потребує детальнішого дослідження.

Для дослідження оптичних властивостей (inSpect UV-1700) було виготовлено плоскопаралельну пластину товщиною 0.52 мм. Спектр пропускання кристалу характеризується двома областями пропускання (Рис.2).

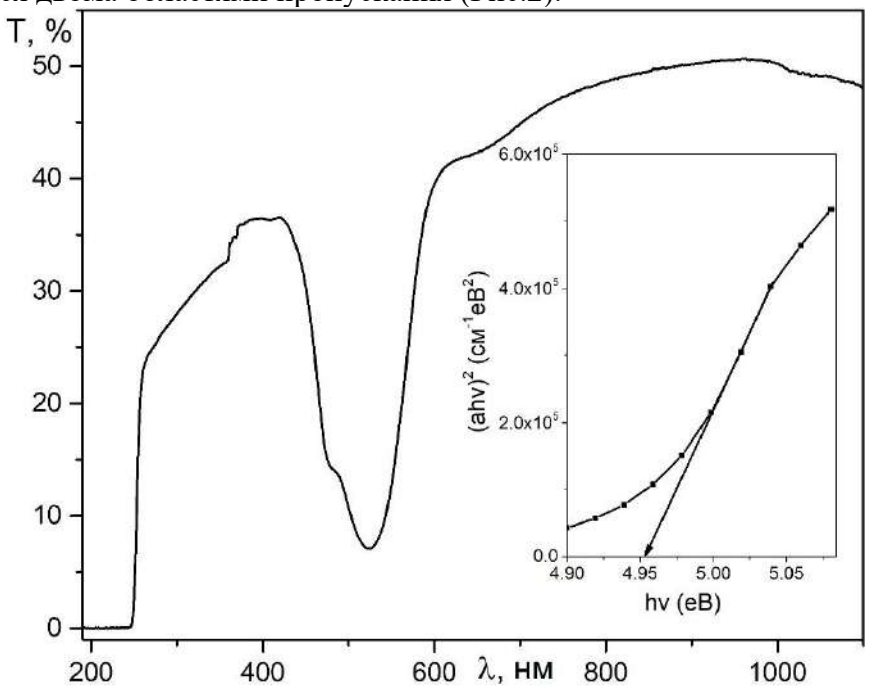


Рис. 2. Спектр оптичного пропускання кристалу $CoSO_4 \times 6CH_3NHCONH_2$, на вставка представлено графік Тауца

Для досліджуваного зразку було визначено ширину забороненої зони E_g. Для цього було використано рівняння Таука [3] $(\alpha h\nu)^{1/m} = B(\alpha h\nu - E_g)$, яке поєднує коефіцієнт поглинання (α) та частоту світла (ν) з енергією забороненої зони (E_g), а B – параметр ширини краю. Параметр m було встановлено рівним 1/2, що відповідає прямому дозволеному переходу.

Для визначення значення ширини забороненої зони E_g було побудовано відповідну залежність $(\alpha h\nu)^2$ від hν, а значення E_g були визначені екстраполяцією лінійної ділянки до перетину з віссю x. Значення E_g становить 4.95 еВ.

1. Milisavljevic I., Wu Y. Current status of solid-state single crystal growth. *BMC Materials*. 2020. V. 2. 2.

2. Figgis B., Skelton B., White A. Crystal structures of hexa(N-methylurea)cobalt(II) sulfate and thiosulfate. *Australian Journal of Chemistry.* 1980. 33. P. 425–430.

3. Viezbicke B.D., Patel S., Davis B.E., Birnie III D.P. Evaluation of the Tauc method for optical absorption edge determination: ZnO thin films as a model system. *Physica status solidi (b)*. 2015. 252. P. 1700-1710.

СПЕКТРАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ЗНЕВОДНЕННЯ ЦИНКУ-КОБАЛЬТУ(II) ФОСФАТІВ ТЕТРАГІДРАТІВ

Гіжицький Ілля Вікторович,
аспірант, aspirant_nubipu@ukr.net
Національний університет біоресурсів і природокористування України, Україна

Антрапцева Надія Михайлівна,
доктор хімічних наук, професор, aspirant_nubipu@ukr.net
Національний університет біоресурсів і природокористування України, Україна

Більшість технологічних процесів одержання сучасних неорганічних матеріалів для різноманітних галузей науки і техніки відбувається за підвищених температур. При цьому змінюються властивості не лише вихідної сировини, але й цільового продукту. Для керування процесами термообробки і збереження технічно цінних властивостей продуктів, що утворюються під час нагрівання, необхідне знання температурних інтервалів їх стійкості, складу і властивостей.

Термічні властивості гідратованих фосфатів визначаються енергетичним станом молекул води, що входять в їх кристалічну решітку. Тому коректний вибір температурного режиму їх обробки можливий лише з врахуванням хімізму їх зневоднення.

Стосовно цинку-кобальту фосфатів відомо, що вони під час нагрівання втрачають кристалізаційну воду з утворенням дигідрату як продукту часткового зневоднення [1]. Утворення інших гідратних форм, процеси регідратації, які змінюють увесь процес зневоднення, не досліджувалися.

Мета даної роботи – дослідити процес і продукти зневоднення цинку-кобальту(II) фосфатів тетрагідратів із застосуванням сучасної методики ІЧ спектроскопічних досліджень.

Як об’єкти дослідження використовували фосфати складу $Zn_{3-x}Co_x(PO_4)_2 \cdot 4H_2O$ ($0<x\leq1.00$), зокрема, $Zn_2Co(PO_4)_2 \cdot 4H_2O$, $Zn_{2.5}Co_{0.5}(PO_4)_2 \cdot 4H_2O$ і $Zn_3(PO_4)_2 \cdot 4H_2O$, вміст інгредієнтів в яких змінюється в межах, % мас.: Zn – 41.8-23.5, Co – 2.3-12.8, P – 13.6-13.8, H_2O – 16.1-16.3.

Синтез цинку-кобальту(II) фосфатів із різним катіонним складом здійснювали взаємодією механічної суміші гідроксокарбонатів цинку і кобальту(II) з розчином фосфатної кислоти аналогічно наведеному в [2].

Спектральні дослідження виконували з використанням двох різних ІЧ спектроскопічних методик. Відповідно до першої з них, ІЧ спектри тетрагідратів і продуктів їх часткового і повного зневоднення записували при 20°С і –190°С (пресування фіксованої наважки (0,05% мас.) в матрицю KBr). Відповідно до другої методики, ІЧ спектри записували у процесі нагрівання зразків, використовуючи спектрометр Nexus – 470 із Фур’є перетворенням і програмним забезпеченням Omnic. Наважки фосфатів розтирали з бутиловим спиртом, суспензію наносили на нейтральну флюоритову підкладку, яку поміщали в піч у кюветному відділенні спектрометра, і нагрівали. Про зневоднення гідратованого фосфату під час нагрівання судили по зміні інтенсивності смуг поглинання ν(OH), фіксуючи при цьому температуру. Після різкого падіння інтенсивності смуг ν(OH) здійснювали запис спектра у всьому діапазоні поглинання ν(OH) – 3700-3000 $см^{-1}$ при температурі, яка відповідає цьому ступеню. Після кожного різкого падіння інтенсивності, яке реєструвалося відхиленням кривої від горизонтальності і появою ступенів різної висоти, здійснювали запис спектра у всьому діапазоні поглинання ν(OH) – 3700-3000 $см^{-1}$ при температурі, яка відповідає ступеню, що розглядається. Якщо у спектрі вихідного тетрагідрату валентні коливання OH-груп молекул води характеризувалися декількома максимумами, то зміни інтенсивності кожного з них вивчали окремо.

Застосування такої методики дослідження зневоднення кристалогідратів дозволяє простежити послідовність видалення води і утворення всіх проміжних гідратних форм.

ІЧ-спектр фосфату складу $Zn_2Co(PO_4)_2 \cdot 4H_2O$ при 25°С в області валентних коливань ОН-груп молекул води характеризується смугами поглинання при 3250 $см^{-1}$ і 3540 $см^{-1}$. Нагрівання спричинює зменшення в три етапи інтенсивності смуги 3250 $см^{-1}$ в інтервалах: 65-80, 85-115 і 210-250°С. У спектрі отриманому при 85°С інтенсивність смуги 3540 $см^{-1}$ зменшується, а частота смуги (3250 $см^{-1}$) зміщується до 3390 $см^{-1}$. Після охолодження зразка до 20 °С максимум цієї смуги розширюється і знову зсувається у бік низьких частот (3280-3380 $см^{-1}$). В ІЧ-спектрі, записаному через 1 і 2 години після охолодження зразка, вона звужується, реєструється максимум 3320 $см^{-1}$. Подібні зміни в спектрі прогрітого до 85 °С и охолодженого фосфату свідчать про його стійкість. Видалення води під час нагрівання $Zn_2Co(PO_4)_2 \cdot 4H_2O$ в інтервалі 65-80°С не відбувається.

Другий ступінь різкого падіння інтенсивності поглинання починається при 90°С. ІЧ спектр, записаний при 115 °С, характеризується максимумом 3420 $см^{-1}$ і плечем 3250 $см^{-1}$. Ідентифікація його свідчить про те, що в інтервалі 90-115°С відбувається видалення двох молекул води з утворенням дигідрату – $Zn_2Co(PO_4)_2 \cdot 2H_2O$, стійкого в інтервалі 115-210 °С.

Підвищення температури до 210-250°С призводить до видалення з дигідрату двох молекул води. ІЧ спектр у діапазоні ν(ОН) при 250°С, відповідає повністю зневодненому фосфату – $Zn_2Co(PO_4)_2$.

У повній відповідності до вищеописаного відбувається зневоднення фосфату складу $Zn_{2,5}Co_{0,5}(PO_4)_2 \cdot 4H_2O$. Характер кривої зміни інтенсивностей основних смуг поглинання в області ν(ОН) під час його нагрівання містить у собі елементи, властиві зневодненню як $Zn_3(PO_4)_2 \cdot 4H_2O$, так і $Zn_2Co(PO_4)_2 \cdot 4H_2O$.

Перша стадія видалення води характеризується двома ступенями падіння інтенсивності поглинання ν(ОН). Одна з них характеризує розрив водневих зв'язків у структурі $Zn_{2,5}Co_{0,5}(PO_4)_2 \cdot 4H_2O$ (75-90°С), друга пов'язана з розривом зв'язків Ме-OH_2 і видаленням двох молекул води [3].

Друга стадія видалення води реєструється на кривій падіння інтенсивностей ν(ОН) одним ступенем. Повністю зневодненому продукту відповідає спектр зразка, нагрітого до 260 °С. Він подібний до ІЧ спектру відомого безводного цинк фосфату (за виключенням температурних режимів утворення).

Термічна стійкість фосфатів корелює з енергетичним станом молекул води і максимальна у фосфата складу $Zn_2Co(PO_4)_2 \cdot 4H_2O$ і продуктів його часткового і повного зневоднення. Температурні інтервали їх утворення і термічної стабільності на 15-20°С вищі ніж у фосфатів з меншим вмістом кобальту.

Таким чином, із застосуванням сучасної методики спектроскопічного дослідження визначено, що фосфати складу $Zn_{3-x}Co_x(PO_4)_2 \cdot 4H_2O$ ($0<x\leq1.00$) стійка під час теплової обробки в інтервалі 65-90°С. За подальшого підвищення температури відбувається їх зневоднення з утворенням в якості проміжного продукту однієї стійкої гідратної форми – дигідрату складу $Zn_2Co(PO_4)_2 \cdot 2H_2O$

1. Acton A. Q. Phosphates – advances in research and application. *Atlanta, Georgia : Scholarly Editions*, 2013. 374 p.

2. Antraptseva N., Solod N., Kochkodan O., Kravchenko O. Co-precipitation of cations of zinc and divalent metals from phosphoric acid solutions. *Functional materials.* 2022. V.29 (4). P. 597–604.

3. Bartl H. Water of crystallization and its hydrogen-bonded crosslinking in vivianite $Fe_3(PO_4)_2 \cdot 8H_2O$; a neutron diffraction inwestigation. *Journal of Analytical Chemistry.* 2020. V. 333. P. 401–403.

СУЧАСНІ МЕТОДИ ПОЛІРУВАННЯ НАПІВПРОВІДНИКОВИХ ПОВЕРХОНЬ

Груша Марина Юріївна,
здобувач вищої освіти IV курсу, okey97531@gmail.com
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Чайка Микола Володимирович,
кандидат хімічних наук, доцент кафедри хімії, laridae92@gmail.com
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Камінський Олександр Миколайович,
кандидат хімічних наук, доцент кафедри хімії, alexkamin@ukr.net
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Денисюк Роман Олександрович,
кандидат хімічних наук, доцент кафедри хімії, denisuknet@ukr.net
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Чумак Володимир Валентинович,
кандидат хімічних наук, доцент кафедри хімії, chumak@zu.edu.ua
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Високоякісна поверхня напівпровідникових матеріалів є визначальним фактором у формуванні структур та приладів мікро- й оптоелектроніки. Саме стан поверхні впливає на електричні, оптичні та механічні характеристики напівпровідників, адгезію шарів, дефектність гетероструктур та стабільність їх роботи. Тому фінішна обробка, спрямована на одержання атомно-гладкої поверхні без пошкоджень і залишкових напружень, є одним із ключових етапів технології виготовлення напівпровідникових приладів/

У процесі вирощування, різання та механічного шліфування монокристалів утворюється дефектний поверхневий шар, який містить механічні пошкодження, мікротріщини, залишкові напруження та забруднення. Такий шар має бути повністю вилучений перед нанесенням електродів, епітаксійних шарів або проведенням легування. Саме тому операції полірування є обов'язковими у виробництві напівпровідникових пластин на основі Si, Ge, GaAs, CdTe, $Zn_xCd_{1-x}Te$, $Cd_xHg_{1-x}Te$ та інших матеріалів/

Зі зростанням вимог до точності та чистоти поверхні, традиційні методи полірування вдосконалюються, доповнюються хімічними компонентами або замінюються новими висококонтрольованими процесами.

Серед основних методів полірування напівпровідників виділяють механічне, хімічне, хіміко-механічне (ХМП) та плазмове полірування.

Механічне полірування – найпростіший метод, що базується на зношуванні поверхні абразивними частинками під дією механічного тиску. Застосовується для первинного вирівнювання поверхні.

Переваги: простота, дешевизна, можливість швидкого зняття матеріалу.

Недоліки: формування мікротріщин, залишкових напружень і дефектного шару товщиною до кількох мікрометрів, потреба у подальшому поліруванні.

Хіміко-механічне полірування (ХМП) **–** один з найпоширеніших сучасних методів, що поєднує механічну дію абразиву з контрольованим хімічним травленням поверхні реакційною рідиною. У процесі ХМП поверхневий шар послаблюється внаслідок хімічного окиснення або комплексоутворення, після чого видаляється механічно.

Переваги: одержання гладкої, бездефектної поверхні (Ra < 10 нм); контрольована швидкість зняття матеріалу; можливість автоматизації.

Недоліки: складність регулювання хімічного складу полірувальних розчинів, потреба у точному дотриманні температури, pH і швидкості обертання.\

ХМП є основним методом полірування кремнієвих пластин у промисловості мікроелектроніки також метод активно адаптується для сполук типу $A^{II}B^{VI}$ (CdTe, $Zn_xCd_{1-x}Te$, $Cd_xHg_{1-x}Te$). Дослідження [1] показали, що оптимальними для таких матеріалів є бромвиділяючі травильні композиції типу $K_2Cr_2O_7$–HBr–органічний розчинник (етиленгліколь, оксалатна або ацетатна кислота), які забезпечують полірування з контрольованою швидкістю розчинення 0,1-10 мкм/хв та мінімальною шорсткістю поверхні.

Хіміко-динамічне полірування (ХДП) засноване на інтенсивному хімічному розчиненні матеріалу за умов керованого масопереносу та перемішування розчину (наприклад, за методикою диску, що обертається). ХДП ефективне для сполук з низькою механічною міцністю (CdTe, GaAs), де небажане застосування абразивів.

Переваги: відсутність механічного пошкодження поверхні, висока рівномірність розчинення.

Недоліки: складність контролю процесу, потреба у точній стабілізації швидкості полірування, ризик локальних дефектів у разі нерівномірного перемішування.

Іонне, плазмове та лазерне полірування – це методи безконтактного впливу, що базуються на фізичному видаленні атомів з поверхні за допомогою іонного бомбардування, плазмового травлення або локального лазерного плавлення.

Переваги: висока чистота, можливість полірування мікро- та наноструктур.

Недоліки: висока вартість обладнання, потреба у вакуумі, обмежена продуктивність.

Сучасні тенденції у поліруванні напівпровідників спрямовані на: екологізацію процесів, зокрема заміну токсичних травильних компонентів на безпечніші окисники або комплексоутворювачі, застосування безконтактних методів, як плазмохімічне полірування, а також використання наночастинок у полірувальних суспензіях, що дозволяє значно знизити шорсткість і підвищити якість поверхні. Розвиваються також методи полірування із застосуванням магнітореологічних рідин, які забезпечують високу точність видалення матеріалу.

Полірування напівпровідникових матеріалів є критичним етапом у виробництві приладів сучасної електроніки. Класичне механічне полірування поступово поступається місцем комбінованим хіміко-механічним та хіміко-динамічним методам, які забезпечують високу якість поверхні без дефектів. Подальший розвиток цієї галузі пов'язаний із впровадженням екологічно безпечних реагентів, автоматизацією процесів полірування та створенням систем моніторингу стану поверхні в реальному часі. Лише комплексний підхід до вивчення механізмів полірування дозволить покращити керованість процесів і забезпечити формування поверхонь із необхідними фізико-хімічними властивостями.

1. Chayka M. V., Tomashyk Z. F., Tomashyk V. M., Malanych G. P., & Korchovyi A. A. Chemical-mechanical polishing of CdTe, $Zn_xCd_{1-x}Te$ and $Cd_xHg_{1-x}Te$ single crystal surfaces by $K_2Cr_2O_7$–HBr–solvent etchants. *Functional Materials*. 2019. 26(2). P. 412-418. https://doi.org/10.15407/fm26.02.412
2. Zhao D., & Lu X. Chemical mechanical polishing: theory and experiment. *Friction.* 2013. *1*(4), 306-326. https://doi.org/10.1007/s40544-013-0029-y
3. Banerjee G., & Rhoades R. L. Chemical mechanical planarization: historical review and future direction. *Journal of The Electrochemical Society.* 2015. *162*(6), H3011-H3022. https://doi.org/10.1149/2.0041506jes
4. Singh R., Panda E., & Babu S. V. A review on chemical and mechanical phenomena at the wafer interface during chemical mechanical planarization. *Journal of Materials Research.* 2021. *36*(3). P. 235-257. https://doi.org/10.1557/s43578-020-00060-x
5. Cho S.-J., Park J.-S., & Lee J.-H. Approaches to sustainability in chemical mechanical polishing (CMP). *Materials.* 2021. *14*(21), 6209. https://doi.org/10.3390/ma14216209
6. Tzeng Y.-C., Lin C.-H., Chen Y.-T., & Lee J.-W. Polymer nanoparticles applied in the CMP (chemical mechanical polishing). *Polymers.* 2023. *15*(15). 3198. https://doi.org/10.3390/polym15153198

СИНТЕЗ І ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОЛІМЕР-НЕОРГАНІЧНИХ КОМПОЗИТІВ НА ОСНОВІ ГЛИН

Гилюк Аліса Володимирівна,
здобувач першого (бакалаврського) рівня вищої освіти ІІІ курсу chem@ukr.net
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Камінський Олександр Миколайович,
кандидат хімічних наук, доцент, alexkamin@ukr.net
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Кичкирук Ольга Юріївна,
кандидат хімічних наук, доцент, kychkyruk-o@zu.edu.ua
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Денисюк Роман Олександрович,
кандидат хімічних наук, доцент, denisuk@zu.edu.ua
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Чайка Микола Володимирович,
кандидат хімічних наук, доцент, laridae92@gmail.com
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Євдоченко Олена Сергіївна,
доктор філософії з галузі знань 01 Освіта/Педагогіка, доцент кафедри хімії,
yevdochenko-o@zu.edu.ua
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Полімер-неорганічні композити – це матеріали, які поєднують органічну полімерну матрицю та неорганічний наповнювач. Особливе місце серед таких композитів займають полімер-глинисті нанокомпозити, у яких шаруваті силікати (глини) рівномірно розподілені або розшаровані в полімері на нанорівні (1-100 нм). Такі матеріали поєднують гнучкість і легкість полімерів із термостійкістю та міцністю неорганічної фази.

Такі неорганічні композити можуть використовуватись як адсорбенти барвників з розчинів. Наприклад, у роботі авторами [1] було використано метод однофазної підготовки для декорування доступної та недорогої шаруватої силікатної мусковітової (MUS) слюди наночастинками ферум оксиду (Fe_3O_4) . Новий композит Fe_3O_4@MUS був охарактеризований за допомогою методів XRD, FTIR, SEM та TEM та протестований на адсорбцію та розкладання небезпечного метилового оранжевого (МО), подібне до фентонівського. Результати експериментальних параметрів, таких як час реакції, маса Fe_3O_4@MUS, концентрація МО, pH розчину, концентрація H_2O_2 та температура, показали, що процес окислення, подібний до фентонівського, був швидким (тобто близько 98% видалення МО було досягнуто через 60 хвилин). Псевдо-перший порядок для кінетики та Ленгмюрівський закон рівноваги відповідають даним адсорбції МО. Максимальна здатність поглинання Ленгмюра Fe_3O_4@MUS становила 149,25 мг/г при 25°C. Дані деградації, подібні до фентонівської, відповідали швидкості видалення першого порядку при різних початкових концентраціях (тобто 50, 100 та 150 мг/л) барвника МО. Електростатичні взаємодії, водневі зв'язки та π-π зв'язок (тобто взаємодія барвник-барвник) були задіяні під час адсорбції МО на поверхні Fe_3O_4@MUS. Деградація МО була головним чином пов'язана з утворенням •OH-радикалів шляхом каталітичного розкладання H_2O_2 з використанням композиту Fe_3O_4@MUS. Синтетичний каталізатор використовувався повторно до п'яти циклів без помітного зниження ефективності його видалення навіть після 5 - го використання, що відображає високу

стабільність Fe_3O_4@MUS.

На рис. 1 показано схему синтезу та механізм адсорбції-деградації МО, подібний до фентонівського.

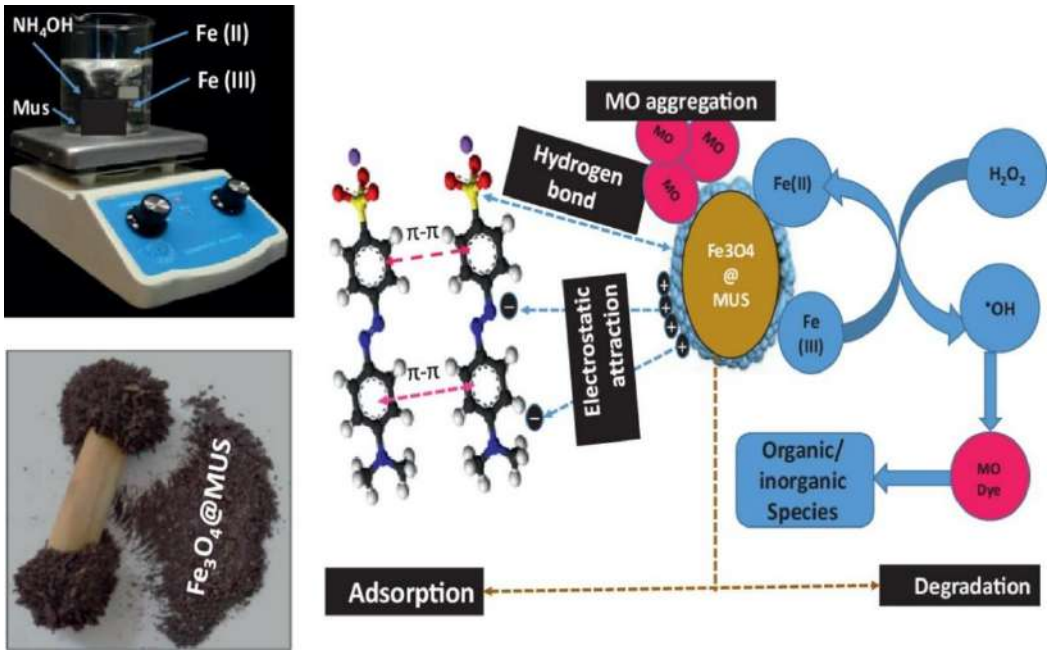


Рис. 1. Схема синтезу та механізм адсорбції-деградації МО, подібний до фентонівського [1]

У роботі авторами [2] здійснено виробництво цеолітового імідазолятного каркасу-8, завантаженого цинковим феритом, або ZFO@ZIF-8, за допомогою налаштованого гідротермального методу та використано цей композит як адсорбент для очищення води, що містить конго червоний барвник (CR).

1. Barakat M. A., Kumar R., Lima E. C., Seliem M. K. Facile synthesis of muscovite-supported Fe_3O_4 nanoparticles as an adsorbent and heterogeneous catalyst for effective removal of methyl orange: Characterisation, modelling, and mechanism. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*. 2021. Vol. 119. P. 146-157. https://doi.org/10.1016/j.jtice.2021.01.025

2. Phan L. Q., Nguyen T. T. T., Nguyen D. T. C., Tran T. V. Insight into adsorption performance and mechanism of Congo red dye onto ZnFe2O4@ZIF-8 nanocomposite in water. Surfaces and Interfaces. 2024. Vol. 46. 103995. https://doi.org/10.1016/j.surfin.2024.103995

СИНТЕЗ ПОРОШКІВ $NiO:Fe_2O_3$ РІЗНОГО МОЛЬНОГО СПІВВІДНОШЕННЯ МЕТОДОМ СПІВОСАДЖЕННЯ

Заблоцький Олександр Ярославович,
здобувач першого (бакалаврського) рівня вищої освіти IV курсу chem@ukr.net
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Камінський Олександр Миколайович,
кандидат хімічних наук, доцент, alexkamin@ukr.net
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Денисюк Роман Олександрович,
кандидат хімічних наук, доцент, denisuk@zu.edu.ua
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Чайка Микола Володимирович,
кандидат хімічних наук, доцент, laridae92@gmail.com
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Кучерук Сніжана Василівна,
доктор філософії з галузі знань Хімічна та біоінженерія, доцент кафедри хімії,
snezhunka1107@gmail.com
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

У роботі проведено синтез зразків $NiO:Fe_2O_3$ різного мольного співвідношення карбонатним методом співосадження. Співвідношення між металами обрано Ni : Fe (1:2) та Ni : Fe (2:1).

У першому випадку відважували 0,01 моль $NiCI_2 \cdot 6H_2O$ (2,38 г) та 0,02 моль $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ (5,56 г), які розчиняли у 25 мл дистильованої води та додавали 3 г порошку Na_2CO_3 (марки «ч.д.а.), ретельно перемішували до утворення салатово-коричневого осаду. Потім утворений осад нікель-ферум карбонату переносили на паперовий фільтр та промивали декантацією дистильованою водою до нейтральної реакції (перевіряли універсальним індикатором).

Хімізм процесу суміжного осадження суміші солей натрій карбонатом можна описати таким рівнянням реакції:

$$NiCI_2 + FeSO_4 + 2Na_2CO_3 = NiFe(CO_3)_2 + 2NaCI + Na_2SO_4 \text{ [1]}$$

Далі одержаний осад кількісно переносили у тигель та прожарювали у муфельній печі за температури 700 ºС протягом однієї години у присутності повітря.

На рис. 1 показано зовнішній вигляд порошку після прожарювання.

Рис. 1. Зовнішній вигляд порошку Ni : Fe (1:2) після прожарювання

Одержаний порошок коричневого кольору, який володіє помірними магнітними властивостями. Вихід кінцевого продукту становив: 1,864 г.

У другому випадку відважували 0,02 моль $NiCI_2 \cdot 6H_2O$ (4,76 г) та 0,01 моль $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ (2,78 г), які розчиняли у 25 мл дистильованої води та додавали 3 г порошку Na_2CO_3 (марки «ч.д.а.), ретельно перемішували до утворення салатово-коричневого осаду, який промивали. Потім виконували прожарювання, як це описано вище

На рис. 2 показано зовнішній вигляд порошку після прожарювання.

Рис. 2. Зовнішній вигляд порошку Ni : Fe (2:1) після прожарювання

Одержаний порошок коричневого кольору, який володіє помірними магнітними властивостями. Вихід кінцевого продукту становив: 1,328 г, тому можна припустити, що утворився оксидний порошок змінного складу $nNiO \cdot mFe_2O_3$, де $n \neq m$.

1. Степаненко О. М., Рейтер Л. Г., Ледовських В. М.,. Іванов С. В. Загальна та неорганічна хімія. Частина II: Підруч. для студ. вищ. навч. закл. К.: Педагогічна преса. 2000. 784 с. Режим доступу до ресурсу: https://utek.uz.ua/wp-content/uploads/2024/08/Stepanenko-O.M.Zagalna-ta-neorganichna-himiya-.CHastyna-2.pdf

КРИСТАЛІЧНА СТРУКТУРА ТВЕРДИХ РОЗЧИНІВ $Cu_2GaInSe_{4-x}S_x$

Ільченко Тетяна Анатоліївна,
здобувач вищої освіти VI курсу, Dorosh.Tetiana2024@vnu.edu.ua
Волинський національний університет імені Лесі Українки, Україна

Смітюх Олександр Вікторович,
кандидат хімічних наук, Smitiukh.Oleksandr@vnu.edu.ua
Волинський національний університет імені Лесі Українки, Україна

Марчук Олег Васильович,
доктор хімічних наук, професор, Marchuk.Oleg@vnu.edu.ua
Волинський національний університет імені Лесі Українки, Україна

В епоху стрімкого розвитку напівпровідникових технологій особливо актуальним є отримання та дослідження матеріалів із прогнозованими фізико-хімічними властивостями, оскільки їх характеристики безпосередньо визначають ефективність і функціональні можливості сучасних пристроїв. Синтез таких багатофункціональних матеріалів дозволяє вирішувати складні завдання в енергетиці, електроніці, фотоніці та сенсорних технологіях, де критично важливими є стабільність, точне налаштування електронних і оптичних властивостей та контроль теплопровідності. Ключовим чинником, що визначає властивості таких матеріалів і напрями їх практичного застосування, є кристалічна структура. Контроль і цілеспрямована модифікація структури дозволяє точно регулювати електронні, оптичні та термічні властивості матеріалів, формуючи нові характеристики (параметри) або змінювати наявні відповідно до функціональних вимог сучасних пристроїв.

У цій роботі представлені результати попереднього дослідження закономірностей зміни кристалічної структури твердого розчину $Cu_2GaInS_4 – Cu_2GaInSe_4$. Дослідження спрямоване на виявлення впливу ізовалентного заміщення Селену на Сульфур на параметри комірки, симетрію та характер атомного впорядкування.

Вихідні тетрарні халькогеніди $A_2B'B''X_4$ (A – Cu, B′ – Ga, B″ – In, X – S або Se) можна розглядати як окремі склади твердих розчинів $CuGaX_2 – CuInX_2$ [1-3]. Вони характеризуються наявністю змішаних катіонних підґраток та можливістю тонкого регулювання електронної структури шляхом варіювання співвідношення Ga/In або S/Se, що відкриває перспективи для керованої зміни ширини забороненої зони та оптичних властивостей. Сполуки $CuGaS_2$, $CuInS_2$, $CuGaSe_2$ та $CuInSe_2$ (рис. 1) кристалізуються у структурі халькопіриту (ПГ $I\bar{4}2d$). Для них характерна близька структурна спорідненість, але помітні відмінності у параметрах елементарної комірки, що зумовлені різницею в радіусах аніонів S^{2-} і Se^{2-}. Відомо також, що ці сполуки мають температури плавлення 1523 К, 1363 К, 1313 К та 1259 К відповідно [4].

Зразки стехіометричних складів $Cu_2GaInSe_{4-x}S_x$ (x = 0, 1, 2, 3) отримували шляхом сплавляння простих речовин із вмістом основного компонента не менше 99,99%: міді (Cu), галію (Ga), індію (In), селену (Se) та сірки (S) у кварцових ампулах, вакуумованих до залишкового тиску 10^{-2} Па, що забезпечувало мінімізацію окиснення та втрат матеріалу під час нагрівання Загальна маса вихідної шихти для кожного зразка становила 1,0 г. Сплавляння проводили в електричній муфельній печі МП-30 із програмним контролем нагріву та охолодження за такою послідовністю технологічних операцій: нагрів до 600 °С зі швидкістю 36 °С/год, витримка за температури 600 °С протягом 10 годин; нагрів до 1100 °С зі швидкістю 12 °С/год, витримка за температури 1100 °С протягом 4 годин; охолодження до температури 500 °С зі швидкістю 6 °С/год, гомогенізуючий відпал за температури 500 °С протягом одного місяця; остаточне гартування синтезованих зразків у воду кімнатної температури без розвакуумування контейнерів для збереження однорідності та структурної стабільності матеріалу.

Експериментальні дифрактограми (рис. 2) були отримані на дифрактометрі BRUKER D8

з використанням CuKα-випромінювання (λ = 1,54185 Å) у діапазоні 10° ≤ 2Θ ≤ 100° з кроком сканування 0,02° та експозицією 20 с на кожній точці. Обробку даних і визначення параметрів кристалічної структури виконували методом Рітвельда за допомогою програмного комплексу WinCSD [5]. який забезпечує автоматизований аналіз рентґенівських дифракційних експериментів. Для тривимірної візуалізації та детального структурного аналізу використовували програму VESTA [6].

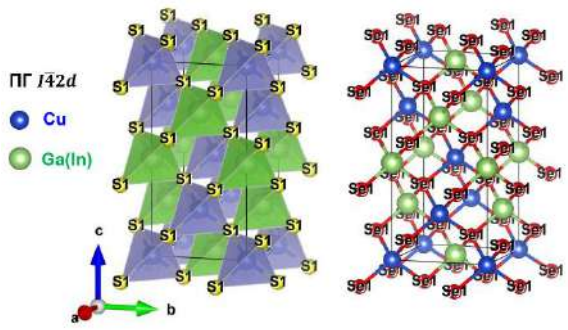


Рис. 1. Розташування атомів та тетраедрів у структурі сполук CuGa(In)S(Se)$_2$

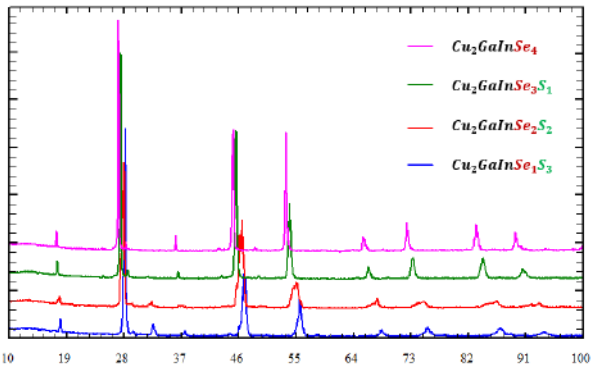


Рис. 2. Експериментальні дифрактограми халькогенідів $Cu_2GaInSe_{4-x}S_x$ (x = 0, 1, 2, 3)

За результатами проведених розрахунків встановлено, що в межах твердого розчину $Cu_2GaInSe_{4-x}S_x$ (x = 0, 1, 2, 3) відбуваються помітні структурні перегрупування. Із зростанням вмісту атомів S (рис. 3) спостерігається майже лінійне зменшення параметра елементарної комірки *a*, тоді як зміна параметра *c* демонструє відхилення від очікуваної лінійної залежності для складу $Cu_2GaInSe_2S_2$. Така аномалія, ймовірно, зумовлена появою внутрішніх напруг у кристалічній структурі, що виникають унаслідок поступової заміни більш важких атомів Селену на легші атоми Сульфуру в позиціях ПСТ (8*d*), що, у свою чергу, впливає на локальну симетрію та деформацію кристалічної ґратки.

У структурі халькогенідів $Cu_2GaInSe_{4-x}S_x$ (x = 0, 1, 2, 3) атоми Купруму займають положення ПСТ 4*a* та координують чотири атоми Селену (для $Cu_2GaInSe_4$), утворюючи тетраедри [Cu 4Se], або по чотири статистичні суміші (Se_{4-x}/S_x), утворюючи тетраедри [Cu 4(Se_{4-x}/S_x)] у структурах $Cu_2GaInSe_3S_1$, $Cu_2GaInSe_2S_2$ і $Cu_2GaInSe_1S_3$.

Атоми статистичних сумішей M (0,5 Ga : 0,5 In) займають положення ПСТ 4*b* також координують чотири атоми Селену (для $Cu_2GaInSe_4$), утворюючи тетраедри [M 4Se], або по чотири статистичні суміші (Se_{4-x}/S_x), утворюючи тетраедри [M 4(Se_{4-x}/S_x)] у структурах $Cu_2GaInSe_3S_1$, $Cu_2GaInSe_2S_2$ і $Cu_2GaInSe_1S_3$ відповідно. На рисунку 4 представлено зміну об'ємів координаційних тетраедрів у залежності від складу досліджуваних халькогенідів.

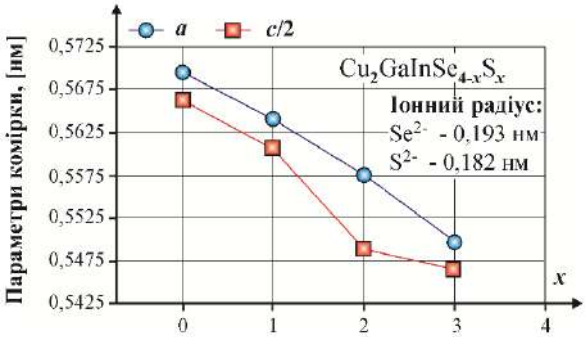


Рис. 3. Параметри елементарної комірки халькогенідів $Cu_2GaInSe_{4-x}S_x$ (x = 0, 1, 2, 3)

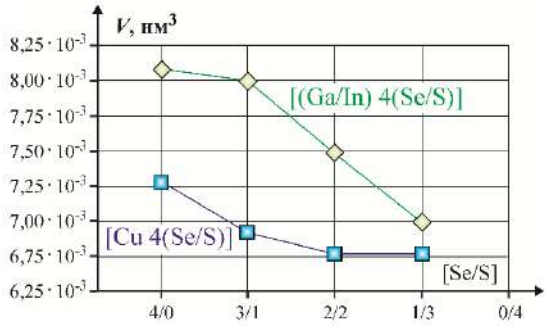


Рис. 4. Об'єми тетраедрів у структурі халькогенідів $Cu_2GaInSe_{4-x}S_x$ (x = 0, 1, 2, 3)

Зі зростанням вмісту атомів сірки об'єми тетраедрів, центрованих Купрумом, зменшуються майже рівномірно. Це очікувано, адже коротші зв'язки δ(Cu–S) призводять до загального ущільнення структури. Натомість тетраедри, у центрі яких розташовані атоми Галію та Індію, змінюють свої об'єми нерівномірно – вже для складу $Cu_2GaInSe_3S_1$

спостерігається відхилення від лінійної залежності. Одним із пояснень таких закономірностей є те, що на початкових етапах заміщення сірка розподіляється навколо катіонів нерівномірно. У результаті окремі тетраедри деформуються, але сама кристалічна ґратки ще залишається відносно стабільною. Коли ж частка Сульфуру зростає (для $Cu_2GaInSe_2S_2$), накопичення таких локальних деформацій призводить до появи внутрішніх напружень, що вже відображається на параметрах елементарної комірки (рис. 3).

Таким чином, спостережувана невідповідність у положенні аномалій на рис. 3 та на рис. 4 свідчить про двоетапний характер структурної перебудови $Cu_2GaInSe_{4-x}S_x$ (x = 0, 1, 2, 3): спочатку – локальні зміни у структурі тетраедрів [(0,5 Ga : 0,5 In) $4(Se_{4-x}/S_x)$], наступний етап – деформація кристалічної ґратки.

1. Grechenkov J., Gopejenco A., Bocharov D., Isakoviča I., Popov A., Brik M., Piskanov S. Ab initio modeling of $CuGa_{1-x}InS_2$, $CuGa_{1-x}S_{2(1-x)}Se_{2x}$ and $Ag_{1-x}Cu_xGaS_2$ chalcopyrite solid solutions for photovoltaic applications, *Energies*. 2023, 16(12), 4823. https://doi.org/10.3390/en16124823

2. Xue H., Lu W., Tang F., Li X., Zhang Y., Feng Y. Phase diagram of the $CuInSe_2$ - $CuGaSe_2$ pseudobinary system studied by combined *ab initio* density functional theory and thermodynamic calculation. *J. Appl. Phys.* 2014, 116, 053512. https://doi.org/10.1063/1.4891829

3. Kumagai Yu., Soda Y., Oba F., Seko A., Tanaka I. First-priciples calculations of the phase diagrams and bang gaps in $CuInSe_2$ - $CuGaSe_2$ and $CuInSe_2$ - $CuAlSe_2$ pseudobinary systems. *Phys. Rev. B.* 2012, 85, 03303. https://doi.org/10.1103/PhysRevB.85.033203

4. Марушко Л.П. Фазові рівноваги та властивості фаз у системах {Cu, Ag} – {Zn, Cd} – {Ga, In} – {Ge, Sn} – {S, Se} : дис. … к.х.н. : 02.00.01. Луцьк, 2010. 189 с.

5.Grin Y., Akselrud L. WinCSD: software package for crystallographic calculations (Version 4). *J. Appl. Cryst*. 2014, 47(2), 803-805. https://doi:10.1107/s1600576714001058

6. Momma K., Izumi F. VESTA 3 for three-dimensional visualization of crystal, volumetric and morphology data. *J. Appl. Cryst*. 2011, 44(6), 1272-1276. https://doi:10.1107/S0021889811038970

КІНЕТИКА ВЗАЄМОДІЇ ТВЕРДИХ РОЗЧИНІВ $Cd_xHg_{1-x}Te$ З ТРАВНИКАМИ СИСТЕМИ I_2 - ДИМЕТИЛФОРМАМІД

Котляр Юрій Миколайович
здобувач вищої освіти IV курсу, kotljarvalja@ukr.net
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Слюсарчук Володимир Анатолійович
здобувач вищої освіти IV курсу, xvova14x@ukr.net
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Денисюк Роман Олександрович,
кандидат хімічних наук, доцент, denisuknet@ukr.net
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Чайка Микола Володимирович
кандидат хімічних наук, доцент, chayka@zu.edu.ua
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Напівпровідникові сполуки на основі кадмій телуриду широко використовуються в електронній техніці. Зокрема тверді розчини складу $Cd_xHg_{1-x}Te$ є найважливішим і найбільш досконалим напівпровідниковим матеріалом для виготовлення високопродуктивних інфрачервоних (ІЧ) детекторів [1]. Вони є домінуючим матеріалом для створення фокальних площин (FPA) – двовимірних масивів пікселів, які є серцем високоякісних тепловізійних камер, а також є унікальним матеріалом для виготовлення лавинних фотодіодів (APD), які використовують ефект ударної іонізації для внутрішнього посилення сигналу [2].

Не зважаючи на широке використання монокристалів $Cd_xHg_{1-x}Te$, для отримання високоякісних приладів залишаються питання обробки поверхні з метою отримання бездефектної поверхні із заданим профілем та геометрично досконалою структурою. З цією метою необхідно використовувати травильні композиції, що володіють низькими швидкостями взаємодії з поверхнею напівпровідника. Такими властивостями володіють розчини йоду в органічних розчинниках.

В роботі досліджено кінетику взаємодії поверхні $Cd_xHg_{1-x}Te$ (де x = 0,1; 0,12; 0,2) під час хімічної обробки монокристалів розчинами йоду в диметилформаміді. Для дослідження використано монокристалічні зразки, які піддавали хіміко-динамічному поліруванню методом диску, що обертається з швидкістю обертання 82 об/хв. за температури 20 °С. Швидкість розчинення визначали за допомогою годинникового індикатору 1-МИГП з точністю ± 0,5 мкм, шляхом вимірювання висоти зразка до та після травлення. Після хімічної взаємодії для усунення окисника поверхню зразка промивали 0,2М розчином $Na_2S_2O_3$ та великою кількістю дистильованої води. Мікроструктуру поверхні зразків після травлення досліджували за допомогою металографічного мікроскопу МИМ-7 з цифровою відеокамерою eTREK DCM800 (8Mpix) [3].

Встановлено, що швидкості взаємодії монокристалів зростають із збільшенням концентрації йоду в травильних сумішах від 5 до 13 мкм/хв. Помітно, що із зменшенням вмісту кадмію в складі твердого розчину в усіх випадках збільшується швидкість взаємодії з травником. Найбільшою є швидкість взаємодії напівпровідника складу $Cd_{0,1}Hg_{0,9}Te$, що може бути пов'язано з розу порядкуванням структури монокристалу. Визначено, що кінетика взаємодії CdTe з досліджуваними розчинами є меншою ніж для твердих розчинів $Cd_xHg_{1-x}Te$.

Поверхня напівпровідників після хімічної взаємодії залишається полірованою при використанні травильних сумішей, що містять від 15 до 25 мас. % йоду в диметилформаміді. В інших розчинах поверхня вкривається ямками травлення або сірим нальотом.

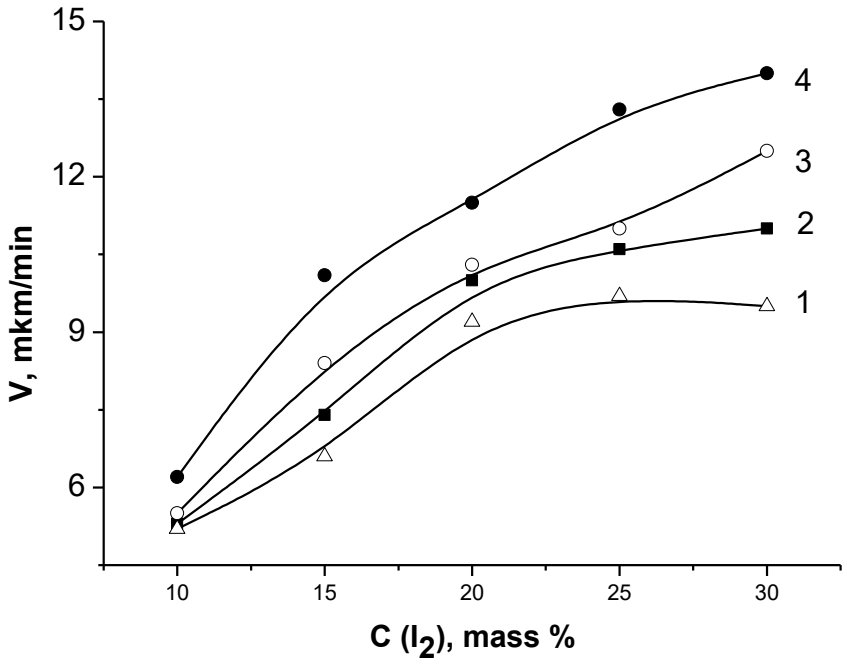


Рис. 1. Концентраційні залежності швидкості травлення (мкм/хв) CdTe (1), $Cd_{0,2}Hg_{0,8}Te$ (2), $Cd_{0,12}Hg_{0,88}Te$ (3), та $Cd_{0,1}Hg_{0,9}Te$ (4) в розчинах I_2 – DMFA (T = 293 K, γ = 82 хв$^{-1}$)

Для хіміко-динамічного полірування монокристалів $Cd_xHg_{1-x}Te$ можна використовувати розчини йоду в диметилформаміді з вмістом йоду 15-25 мас.% за температури 293К і швидкістю обертання диску 82 об/хв. після чого поверхню необхідно промити 0,2М розчином $Na_2S_2O_3$ та великою кількістю дистильованої води, при цьому швидкість полірування становить 6-12 мкм/хв.

1. Kopytko Małgorzata and Rogalski Antoni. New Insights into the Ultimate Performance of Hgcdte Photodiodes. *Sensors and Actuators A: Physical.* 2022. V. 339, 113511. https://ssrn.com/abstract=3988118 or http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.3988118

2. Bhan R. K., & Dhar V. Recent infrared detector technologies, applications, trends and development of HgCdTe based cooled infrared focal plane arrays and their characterization. *Opto-Electronics Review*. 2019. V. 27(2). P 174–193. https://doi.org/10.1016/j.opelre.2019.04.004

3. Денисюк Р. О., Томашик В. М., Чайка М. В., Камінський О. М., Писаренко С. В., Вовченко М. М. Хімічне травлення монокристалів $Mn_XCd_{1-X}Te$ розчинами HNO_3 – KI – диметилформамід. *Український журнал природничих наук*. 2024. № 10. С. 64-74. https://doi.org/10.32782/naturaljournal.10.2024.5

СТАН МОЛЕКУЛ ВОДИ І ФОСФАТНОГО АНІОНУ В СТРУКТУРІ ГІДРАТОВАНИХ ЦИНКУ-МАНГАНУ(II) ФОСФАТІВ

Кучма Богдан Олексійович,
магістр, aspirant_nubipu@ukr.net
Національний університет біоресурсів і природокористування України, Україна

Антрапцева Надія Михайлівна,
доктор хімічних наук, професор, aspirant_nubipu@ukr.net
Національний університет біоресурсів і природокористування України, Україна

Фосфати двовалентних металів, зокрема цинку і мангану(II) широко використовують в якості основи різноманітних сучасних неорганічних матеріалів: каталізаторів органічного синтезу, пігментів, термофосфатних декоративних покриттів, інгібіторів корозії тощо [1,2].

Останнім часом значно розширився перелік синтезованих нових фосфатів, що містять у своєму складі одночасно два двовалентні метали, вміст яких можна змінювати в широких межах, покрашуючи тим самим їх технічно цінні властивості. Реалізація керованого синтезу таких фосфатів відбувається внаслідок ізоморфного взаємозаміщення катіонів у кристалічній структурі фосфату матриці. Передбачення областей гомогенності фосфатів, що при цьому утворюватимуться, потребує розгляду особливостей структурних елементів їх кристалічних решіток. Відомості про систематичні дослідження стану води і фосфатного аніону в структурі гідратованих цинку-мангану(II) фосфатів в літературі відсутні.

Мета даної роботи – дослідити стан води і фосфатного аніону в структурі гідратованих цинку-мангану(II) фосфатів.

В якості об'єктів дослідження використовували фосфати складу $Zn_{3-x}Mn_x(PO_4)_2 \cdot 4H_2O$ ($0<x\leq1.00$) та їх дейтероаналоги. Одержували їх взаємодією цинк і манган(II) гідроксокарбонатів з розчином фосфатної кислоти аналогічно описаному в [2]. ІЧ спектри записували при 20°С і –190°С в діапазоні 400-4000 $см^{-1}$ на спектрометрі Nexus – 470 із Фур'є перетворенням і програмним забезпеченням Omnic. Зразки готували пресуванням фіксованої наважки (0,05% мас.) в матрицю KBr. Крім того, використовували суспензію фосфату в бутиловому спирті, нанесену на нейтральну флюоритову підложку.

Аналіз ІЧ спектрів цинку-мангану(II) фосфатів складу $Zn_2Mn(PO_4)_2 \cdot 4H_2O$, $Zn_{2,5}Mn_{0,5}(PO_4)_2 \cdot 4H_2O$, фосфату-матриці – $Zn_3(PO_4)_2 \cdot 4H_2O$ – та їх дейтероаналогів записаних при 20°С і –190°С свідчить про те, що за кімнатної температури в області валентних коливань ОН-груп молекул води (3000-3600 $см^{-1}$) спостерігаються дві смуги поглинання (значення їх максимумів наведено в табл. 1) та одна – в області деформаційних коливань (1550-1750 $см^{-1}$). При температурі рідкого азоту в області валентних коливань чітко реєструються чотири максимуми, в області деформаційних – два, що свідчить про присутність в їх структурі нееквівалентних видів молекул води.

Дослідження ІЧ спектра дейтероаналога складу $Zn_2Mn(PO_4)_2 \cdot 4D_2O$ дозволило надійно ідентифікувати смуги поглинання, обумовлені наявністю лібраційних коливань молекул води, які вказують на їх жорстке закріплення як по Оксигену, так і по Гідрогену. Характер конфігурацій смуг поглинання ν(ОН) також свідчать про наявність в структурі цинку-мангану(II) фосфатів системи водневих зв'язків.

Одночасна присутність в спектрах цинку-мангану(II) фосфатів вузьких високочастотних і широких низькочастотних смуг поглинання вказує на різну навантаженість кожної ОН-групи молекул води та на їх участь в утворенні різних за міцністю і направленістю Н-зв'язків

Порівняльний аналіз ІЧ спектрів фосфатів з різним вмістом цинку і мангану(II) свідчить про те, що частоти валентних коливань ОН-груп молекул води залежать від співвідношення цинку і мангану(II) в октаедрах кристалічної структури фосфату. Із збільшенням вмісту мангану(II) в координаційному поліедрі спостерігається закономірне зміщення максимумів

смуг поглинання ν(OH) в низькочастотну область, як в групі M^{2+}– OH_2...OPO_3, так в групі M^{2+} – OH_2...OH_2. Особливо чітко воно реєструється в ІЧ спектрах зразків, осаджених на CaF_2.

Енергія водневих зв'язків, оцінена відповідно [3] по цьому зміщенню, зростає при переході від $Zn_3(PO_4)_2 \cdot 4H_2O$ до $Zn_2Mn(PO_4)_2 \cdot 4H_2O$. Збільшується при цьому і різниця в навантаженості ОН-груп в однієї тієї ж молекули води (табл. 1). Це пояснюється більш сильною поляризуючою дією мангану(II) на молекули води, які складають найближче координаційне оточення катіону.

Таблиця 1. Характеристика Н-зв'язків в структурі цинку-мангану(II) фосфатів

Склад фосфату	Хвильові числа максимумів смуг поглинання ν(OH), $см^{-1}$		Характеристика Н-зв'язків		
			Е, кДж/моль		$R_{O...O}$, нм $(PO_4)O…O(H_2O)$
			OH …OPO_3	OH…H_2O	
$Zn_{2.80}Mn_{0.20}(PO_4)_2 \cdot 4H_2O$	3264	3518	29.35	12.48	0.274
$Zn_{2.60}Mn_{0.40}(PO_4)_2\ 4H_2O$	3260	3515	29.41	12.51	0.274
$Zn_{2.50}Mn_{0.50}(PO_4)_2 \cdot 4H_2O$	3254	3510	29.50	12.60	0.274
$Zn_{2.30}Mn_{0.70}(PO_4)_2 \cdot 4H_2O$	3247	3504	30.34	12.94	0.274
$Zn_{2.20}Mn_{0.80}(PO_4)_2 \cdot 4H_2O$	3244	3503	30.36	12.96	0.274
$Zn_{2.00}Mn_{1.00}(PO_4)_2 \cdot 4H_2O$	3240	3500	30.48	13.31	0.274

Крім зміщення частот валентних коливань ОН-груп молекул води в ІЧ спектрах цинку-мангану(II) фосфатів складу $Zn_{3-x}Mn_x(PO_4)_2 \cdot 4H_2O$ в низькочастотній області (350-180 $см^{-1}$) реєструється зміщення смуг поглинання, які, відповідно до [4], характеризують коливання катіонної підрешітки. При переході від $Zn_3(PO_4)_2 \cdot 4H_2O$ до $Zn_2Mn(PO_4)_2 \cdot 4H_2O$ спостерігається зміщення частот поглинання з 310, 270, 255, 210, 195 $см^{-1}$ до 320, 275, 260, 225, 210 $см^{-1}$ відповідно, що узгоджується із зменшенням молярної маси фосфатів.

В області скелетних коливань (400-1200 $см^{-1}$) в ІЧ спектрах фосфатів добре розділяються валентні (800-1200 $см^{-1}$) і деформаційні (500-650 $см^{-1}$) коливання аніона PO_4^{3-}. Вплив природи катіона на внутрішні коливання фосфатного тетраедра практично не виявляється, так як, відповідно структурним даним, тільки дві оксигенові вершини кожного октаедра є загальними з PO_4-тетраедрами. Атоми фосфору і всі координуючі його атоми Оксигену знаходяться в загальних положеннях, тобто локальна симетрія аніону PO_4^{3-} – C_1. Кореляційна схема, побудована для PO_4^{3-}-аніона з урахуванням фактор-групи D_{2h}^{16} ($Zn_{3-x}Mn_x(PO_4)_2 \cdot 4H_2O$ кристалізуються в просторовій групі D_{2h}^{16} чи P_{nma}), має вигляд:

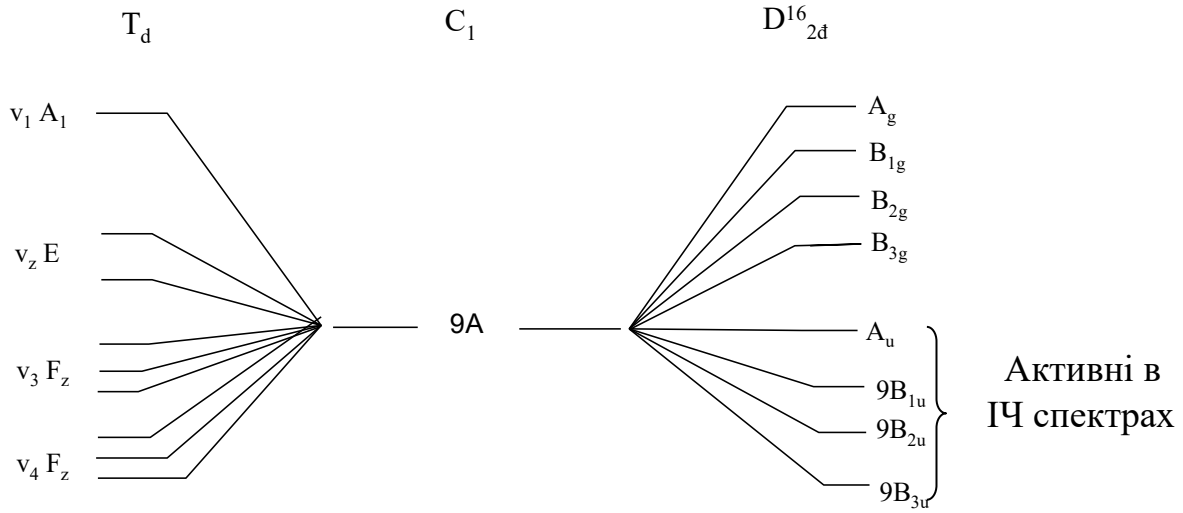


Рис. 1 Кореляційна схема для PO_4-аніона (фактор-група D_{2h}^{16})

Виходячи із цієї схеми, число частот, які відповідають внутрішнім коливанням аніона PO_4, має дорівнювати 27. При кімнатній температурі вдалось зареєструвати 9 смуг, при -190^0C – 13; із них 5 – в смугах ν_3 (із 9 розрахованих), 2 – в ν_1 (із 3 розрахованих), 2 – в ν_4 (із 9 розрахованих) і 4 – в смузі ν_2 (із 6 розрахованих). Невідповідність розрахованого і експериментального числа смуг для коливань тетраедра PO_4 пояснюється співпаданням деяких частот коливань різних зв'язків.

Досить значні розщеплення основних смуг поглинання фосфатного аніона, поява повносиметричного коливання $\nu_1(A_1)$ – 940, 930 $см^{-1}$ і ν_2 (E) – 500 і 420 $см^{-1}$, зазвичай не активних в ІЧ спектрах, свідчить про значні викривлення тетраедра в решітці цинку-мангану(II) фосфатів. Це підтверджується даними рентгеноструктурного аналізу і взаємодією аніонів між собою завдяки наявності водневих зв'язків.

Таким чином, в структурі фосфатів цинку-мангану(II) складу $Zn_{3-x}Mn_x(PO_4)_2\cdot 4H_2O$ ($0<x\leq 1.00$) присутні два нееквівалентних види молекул води, ОН-групи яких утворюють жорстку систему різних за міцністю і напрямленістю водневих зв'язків. Енергія Н-зв'язків, зв'язків M^{II}–О (OH_2) та Р–ОН і асиметрія координаційно зв'язаних молекул води зростають зі збільшенням мангану(II) в складі $Zn_{3-x}Mn_x(PO_4)_2\cdot 4H_2O$. Фосфатний тетраедр входить до координаційного оточення катіону і має значні викривлення.

1. Acton A. Q. Phosphates – advances in research and application. Atlanta, Georgia : Scholarly Editions, 2013. 374 p.

2. Antraptseva N.M., Solod N.V. Solid solutions and double phosphates of bivalent metals. К. : Center of polygraphy Комprint, 2018. 342 p.

3. Bartl H., Water of crystallization and its hydrogen-bonded crosslinking in vivianite $Fe_3(PO_4)_2\cdot 8H_2O$; a neutron diffraction inwestigation. *Journal of Analytical Chemistry.* 2020. V.333. P. 401–403.

4. Nakamoto K. Infrared and Raman spectra of inorganic and coordination compounds, Part B. Applications in coordination, organometallic, and bioinorganic chemistry. Jonh Wiley & Sons, Inc., 2009. 3014 p.

РІДИННОФАЗНЕ ОДЕРЖАННЯ МЕТАЛОКСИДНИХ НАНОМАТЕРІАЛІВ

Лакізюк Денис Сергійович
здобувач вищої освіти IV курсу, *denislakizuk64@gmail.com*
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Кусяк Наталія Володимирівна,
кандидат хімічних наук, доцент, *nkusyak@ukr.net*
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Оскільки розміри частинок наноструктурних металоксидних матеріалів (1-100 нм) надають їм унікальних фізико-хімічних властивостей, які відрізняються від властивостей матеріалів у макроскопічному стані, одержання та вивчення таких матеріалів є актуальним. Наночастинки оксидів металів та їх гібриди вважаються одними із найцікавіших функціональних матеріалів у широкому спектрі застосувань завдяки їх унікальним оптичним, оптоелектронним, магнітним, електричним, механічним, тепловим, каталітичним та фотохімічним характеристикам. Крім того, різні стани оксидів перехідних металів включають феромагнітні та напівпровідникові стани. Як наслідок, такі характеристики оксидів металів дозволяють їх широке використання при одержанні паливних елементів, кераміки, хімічних, газових та біологічних сенсорів, детекторів та інших пристроїв [1].

Систематичні методи одержання наноматеріалів класифікуються як «знизу вгору» (збірка частинок з атомних або молекулярних структур) та «зверху вниз» (літографічні методи, впорядковане вилучення матеріалів з більших або об'ємних твердих тіл). Одним із успішним методів синтезу наноматеріалів з різними морфологіями та розподілами розмірів є рідиннофазне одержання наночастинок [2]. Ріст таких частинок у розчинній фазі ініціюється хімічною реакцією між реагентами-прекурсорами. Загалом, отримані наночастинки демонструють високу поверхневу енергію та велику кривизну поверхні з великим співвідношенням поверхні до об'єму через їх дуже малий розмір. Отже, наночастинки стають більш нестабільними, ніж макрорівневі структури, що їм відповідають, через значно вищу їх поверхневу енергію. Крім того, наявність сил притягання Ван-дер-Ваальса між наночастинками сприяє агрегації, яку можна обмежити шляхом застосування відповідних стабілізуючих агентів під час синтезу в розчинній фазі через стеричне та/або електростатичне відштовхування. Дія стабілізуючого агента, що перешкоджає агломерації, включає енергійну адсорбцію на поверхні наночастинок та десорбцію з неї. Незважаючи на їхню простоту та високий вихід, методи розчинної фази призводять до утворення більшої кількості домішок у нанопродукті, що вимагає очищення шляхом фільтрації, промивання або термічної обробки. Були розроблені різні типи методів одержання в розчинній фазі, такі як золь-гель осадження, електрохімічне осадження, гідротермально-сольвотермальний, мікроемульсія, співосадження, мікрохвильовий синтез та сонохімічні методи (рис.)

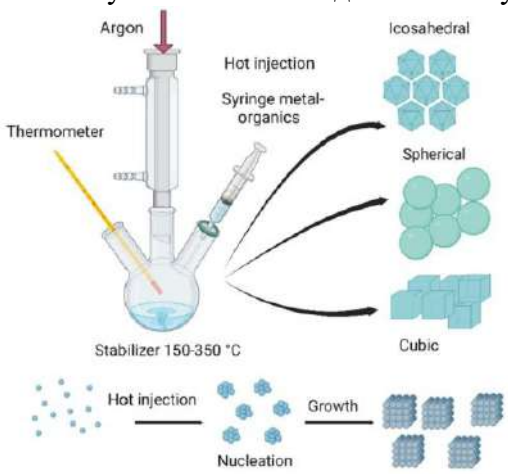


Рис. 1 Схематичне зображення гарячого синтезу нанокристалів [2].

1. Kannan K. et al. Nanostructured metal oxides and its hybrids for photocatalytic and biomedical applications. *Advances in Colloid and Interface Science*. 2020. V. 281. 102178.

2. Harish V. et al. Nanoparticle and nanostructure synthesis and controlled growth methods. *Nanomaterials.* 2022. V. 12(18).

ОКИСНО-ВІДНОВНІ ПРОЦЕСИ ПІД ЧАС ТРАВЛЕННЯ НАПІВПРОВІДНИКІВ ТИПУ A^3B^5 В ЙОДВМІСНИХ РОЗЧИНАХ

Лозова Марія Володимирівна
Здобувач вищої освіти IV курсу, marialozova242@gmail.com
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Денисюк Роман Олександрович,
кандидат хімічних наук, доцент, denisuknet@ukr.net
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Чумак Володимир Валентинович
Доцент, кандидат хімічних наук, chumak@zu.edu.ua
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Маланич Галина Петрівна
кандидат хімічних наук, старший науковий співробітник, galya.malanich@gmail.com
Інституту фізики напівпровідників ім. В.Є.Лашкарьова НАН України

Напівпровідникові матеріали типу $A^{III}B^{V}$, зокрема InSb, широко застосовуються для виготовлення високоякісних ІЧ-фотодіодів та гібридних пристроїв з інтеграцією CMOS/CCD для систем візуалізації, оборонної та космічної промисловості, а також для надшвидких і малопотужних електронних пристроїв та для детекторів випромінювання наступного покоління [1, 2]. Однак, при практичному використанні таких матеріалів існують значні технологічні проблеми щодо технології виготовлення робочих елементів приладів. Одним з етапів підготовки монокристалів є обробка травильними композиціями, що володіють низькими швидкостями розчинення матеріалу при збереженні високої якості отриманої поверхні. Часто з такою метою використовують розчини, що містять йод та володіють слабкими окисними властивостями [3].

В роботі досліджено електродні потенціали саморозчинення в травильних сумішах системи виготовлених розчиненням йоду в йодидній кислоті. Для дослідження підготовлено точкові електроди з монокристалічних зразків InSb, In та Sb. Електродні потенціали визначали після встановлення повної рівноваги за допомогою іонометра І-160М у статичному режимі при температурі 293 ± 0,5 К по відношенню до насиченого хлор срібного електроду та робили перерахунок на значення стандартного водневого електроду.

Електродні потенціали процесу саморозчинення в досліджуваних розчинах зростають від 0,041 В до 0,060 В для InSb та від 0,318 В до 0,341 В для Sb (рис. 1). Використання досліджуваних травників для хіміко-динамічного полірування дозволило встановити, що всі розчини володіють поліруючими властивостями.

Процес розчинення InSb у сумішах I_2 в HI передбачає переведення в розчин індію та стибію у вигляди катіонів. InSb взаємодіє з I_2 з утворенням розчинних йодидів:

$$InSb + 3\ I_2 = InI_3 + SbI_3 \qquad (1)$$

Під час контакту поверхні пластини InSb з розчином формуються області мікрокатодів і мікроанодів. Катіони стибію володіють досить помітним значенням окисно-відновного потенціалу, що може призводити до взаємодії з індієм та спричиняти виділення стибію на поверхні напівпровідника. У результаті на катодних ділянках поверхні InSb може протікати реакція:

$$Sb^{3+} + 3e = Sb^0 \qquad (2)$$

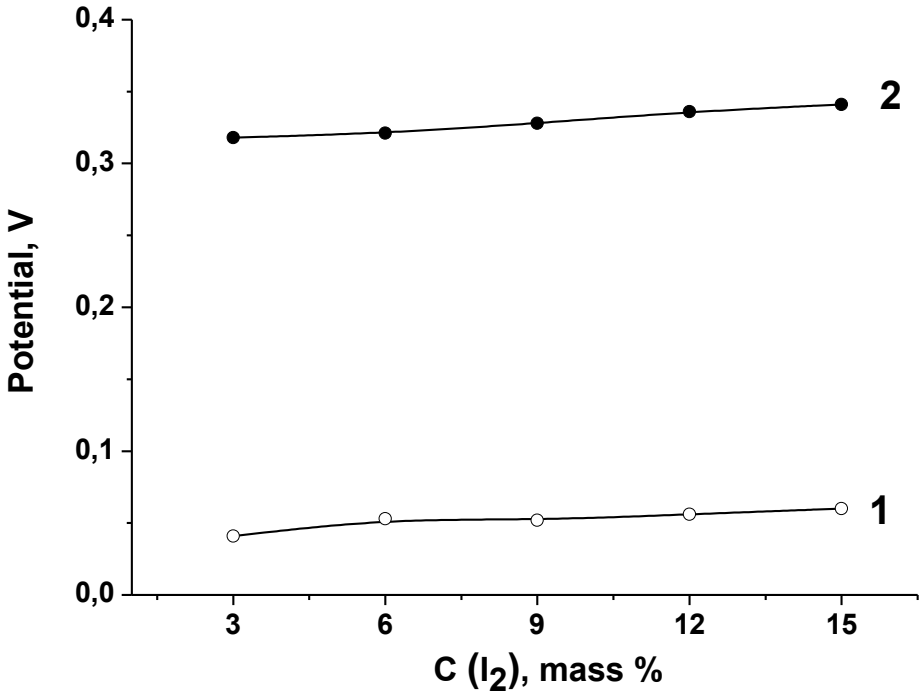


Рис. 1. Залежність електрохімічних потенціалів взаємодії InSb (1) та Sb (2) від концентрації йоду в розчинах I_2 в HI (T = 293 ±0,2K)

Таким чином, при розчиненні індій стибіду в розчинах I_2 + HI одночасно протікає як хімічне окиснювально-відновне розчинення (1), так і реакції осадження стибію (2).

На основі отриманих експериментальних даних встановлено, що для хіміко-динамічного полірування поверхні InSb можна використовувати йодвмісні травники з окисно-відновними потенціалами вище 0,04 В.

1. Se-Hwan Park, Han Soo Kim, Hee-Sung Shin, Ho-Dong Kim, Yun-Ho Cho, Yong Kyun Kim. Development of InSb Semiconductor Detector for High Resolution. Radiation Measurement. *Journal of the Korean Physical Society*. 2011. V. 58(6), P. 1577 – 1580.

2. Sapon S. V., Boltovets M. S., Kulbachynskyi O. A., Zabudsky V. V., Golenkov O. G., Korotyeyev V. V., Efremov A. A. Properties of InSb photodiodes fabricated by ion implantation. Semiconductor Physics, Quantum Electronics & Optoelectronics. 2024. V. 27 (3). P. 356-365.

3. Malanych G., Tomashyk V., Korchovyi A., Sabov T. Chemical interaction of the GaAs, GaSb, InAs, and InSb single crystals surface with I2 + DMF (methanol) etchants. *Appl. Nanosci*. 2023. V.13, N.10. P.7047-7056.

КОМПЛЕКСИ ВАНАДИЛУ, ІММОБІЛІЗОВАНІ НА ДИСПЕРСНОМУ SiO_2 В КАТАЛІТИЧНИХ ПРОЦЕСАХ ОКИСНЕННЯ SO_2. СИНТЕЗ, БУДОВА ВЛАСТИВОСТІ

Малюк Максим Віталійович,
аспірант ІІІ курсу, m.maliuk@ukma.edu.ua
Національний університет «Києво-Могилянська академія», Україна

Кіосе Тетяна Олександрівна,
доктор хімічних наук, професорка
Одеський національний університет ім. І.І. Мечникова, Україна

Козакевич Роман Борисович,
кандидат хімічних наук, старший дослідник
Інститут хімії поверхні ім. О.О. Чуйка НАН України

Ракитська Тетяна Леонідівна,
доктор хімічних наук, професорка
Одеський національний університет ім. І.І. Мечникова, Україна

Голуб Олександр Андрійович,
доктор хімічних наук, професор
Національний університет «Києво-Могилянська академія», Україна

Відомо, що V_2O_5 є ефективним каталізатором газофазного окиснення SO_2 до SO_3 завдяки рівноважному співіснуванню станів $V^{(IV)}/V^{(V)}$ в активних центрах. Тому іммобілізовані комплекси ванадилу на поверхні дисперсного SiO_2 розглядаються як перспективні гетерогенні каталізатори цієї реакції. Робота присвячена одержанню та комплексному дослідженню VO-комплексів з органічними лігандами типу основ Шифа та іншими, іммобілізованими на високодисперсному пірогенному кремнеземі, а також встановленню зв'язку між їх будовою та каталітичною активністю в окисненні SO_2 за звичайних умов.

Функціоналізацію SiO_2 здійснено різноманітними неорганічними і координаційними сполуками ванадію(IV) в тому числі з іммобілізованими органічними лігандами типу основ Шифа. Іммобілізовані системи досліджували фізико-хімічними методами з метою підтвердження утворення стабільних координаційних вузлів VO^{2+} та збереження високої питомої поверхні носія.

На підставі аналізу параметрів спектральних досліджень показано, що іммобілізовані VO^{2+}-центри загалом зберігають аксіально-симетричну будову, характерну для комплексів ванадилу із ванадильним оксигеном як аксіальним лігандом. Водночас закріплення на поверхні SiO_2 призводить до певного викривлення локального координаційного оточення, що проявляється у відхиленнях спектральних параметрів від значень для молекулярних аналогів.

Теоретичне моделювання комплексів у кластерному наближенні комбінованим методом із використанням молекулярної механіки та DFT-методу квантової хімії дозволило запропонувати будову іммобілізованих ванадильних комплексів на поверхні SiO_2 та одержати геометричні параметри координаційного оточення VO^{2+}.

Каталітичні випробування проводили у проточному газофазному реакторі (SO_2/повітря) за стандартних умов. Встановлено, що за цих умов досліджувані зразки не виявляють активності, достатньої для комерційного використання. Розглянуто можливості використання каталізаторів за інших умов реакції.

СУЧАСНІ КАРБОНОВІ МАТЕРІАЛИ ТА ЇХ ВИКОРИСТАННЯ

Мельник Оксана Русланівна,
здобувач першого (бакалаврського) рівня вищої освіти ІІІ курсу chem@ukr.net
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Павлюк Василь Анатолійович,
здобувач першого (бакалаврського) рівня вищої освіти ІІІ курсу chem@ukr.net
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Камінський Олександр Миколайович,
кандидат хімічних наук, доцент, alexkamin@ukr.net
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Тітов Юрій Олександрович,
доктор хімічних наук, професор, chem@ukr.net
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Денисюк Роман Олександрович,
кандидат хімічних наук, доцент, denisuk@zu.edu.ua
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Чайка Микола Володимирович,
кандидат хімічних наук, доцент, laridae92@gmail.com
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Євдоченко Олена Сергіївна,
доктор філософії з галузі знань 01 Освіта/Педагогіка, доцент кафедри хімії,
yevdochenko-o@zu.edu.ua
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Карбонові (вуглецеві) матеріали – це широка група речовин, у яких основним структуроутворюючим елементом є вуглець. Завдяки різноманітності алотропних форм (sp, sp^2, sp^3-гібридизація) вуглець утворює матеріали з унікальними механічними, електричними, тепловими й хімічними властивостями.

Основні типи сучасних карбонових матеріалів:

Графен. Будова: одношаровий шар атомів вуглецю у гексагональній решітці. Властивості: надвисока електропровідність, теплопровідність, міцність (у 200 разів міцніший за сталь), прозорість.

Застосування: сенсори, гнучка електроніка; літій-іонні батареї, суперконденсатори; антикорозійні покриття, нанокомпозити; біомедичні пристрої (носії ліків, біосенсори).

Вуглецеві нанотрубки (CNT – Carbon Nanotubes). Будова: циліндричні структури, «згорнуті» з графенового шару; бувають одно- (SWCNT) і багатошарові (MWCNT).

Властивості: висока електропровідність, еластичність, мала густина, хімічна інертність.

Використання: електроди у батареях і суперконденсаторах; армування полімерних композитів; провідники та елементи наноелектроніки; каталізатори (носії активних центрів).

Нанодіаманти. Будова: нанокристали алмазної структури з розміром <10 нм.

Властивості: надтверді, хімічно стабільні, біосумісні.

Використання: полірувальні пасти, зносостійкі покриття; носії лікарських засобів, флуоресцентні зонди; композити з підвищеною міцністю.

Аморфний та пористий вуглець. Аморфний вуглець (a-C, DLC): має властивості між графітом і алмазом; часто використовується як тверде, антифрикційне покриття.

Активоване вугілля та вуглецеві аерогелі: характеризуються великою питомою поверхнею (до 3000 м²/г).

Застосування: сорбенти, каталізатори, фільтри, електроди суперконденсаторів.

Наприклад, фулерени – це наномолекулярні вуглецеві утворення, які можуть служити платформами для доставки ліків та агентів візуалізації. Існує кілька функціональних режимів, за яких фулерени можуть діяти як наноматеріали для доставки ліків. Фулерени можуть мати пряму біоактивність, таку як антиоксидантна активність, коли вони поверхнево функціоналізовані. Фулерени також можуть служити векторами для доставки ліків або каркасами для доставки ліків з нековалентними зв'язками або з ковалентними зв'язками між фулереном та біоактивним фрагментом. Ендоедральні фулерени – це підклас фулеренів, які містять атом(и) у своїх внутрішніх просторах. Ендоедральні фулерени пропонують міцну оболонку, яка може запобігати контакту між тілом та захопленим(и) атомом(ами), служачи, наприклад, для посилення контрастності при магнітно-резонансній томографії та як носій для радіонуклідів [1].

Можна зробити висновок про те, що вуглецеві наноматеріали – це цілий клас сучасних сполук, які використовуються у різних галузях сучасної нанотехнології.

1. Bolskar, R. D. Fullerenes for Drug Delivery. In: Bhushan, B. (eds) *Encyclopedia of Nanotechnology. Springer, Dordrecht.* 2012. https://doi.org/10.1007/978-90-481-9751-4_76

ФІЗИКО-ХІМІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ НАПІВПРОВІДНИКОВИХ МАТЕРІАЛІВ ТА ЇХ ВПЛИВ НА ФУНКЦІОНАЛЬНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ СУЧАСНИХ ЕЛЕКТРОННИХ ПРИЛАДІВ

Мосійчук Владислава Вікторівна,
здобувач 1 курсу другого (магістерського) рівня вищої освіти, mosvladislava@gmail.com
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Чайка Микола Володимирович,
кандидат хімічних наук, доцент кафедри хімії, laridae92@gmail.com
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Камінський Олександр Миколайович,
кандидат хімічних наук, доцент кафедри хімії, alexkamin@ukr.net
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Денисюк Роман Олександрович,
кандидат хімічних наук, доцент кафедри хімії, denisuknet@ukr.net
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Чумак Володимир Валентинович,
кандидат хімічних наук, доцент кафедри хімії, chumak@zu.edu.ua
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Фізико-хімічні властивості напівпровідникових матеріалів визначають їхню поведінку під час технологічної обробки, експлуатації та застосування в електроніці, оптоелектроніці й сенсорних системах. Розуміння взаємозв'язку між структурою, складом і властивостями напівпровідників є ключем до створення високоефективних елементів сучасних пристроїв, від мікрочипів до медичних сенсорів та фотоелектричних систем.

Напівпровідникові матеріали мають проміжні електропровідні властивості між провідниками й діелектриками, що зумовлено наявністю забороненої зони між валентною зоною та зоною провідності. Ширина цієї зони визначає електричні, теплові й оптичні характеристики матеріалу. Так, вузькозонні напівпровідники (наприклад, $Cd_xHg_{1-x}Te$ або InSb) ефективно поглинають інфрачервоне випромінювання, тоді як широкозонні (GaN, SiC) мають високу термостійкість і придатні для потужної електроніки.

До основних фізико-хімічних параметрів належать електропровідність, концентрація та рухливість носіїв заряду, діелектрична проникність, теплопровідність, а також стабільність цих параметрів за зміни температури чи зовнішнього середовища. Важливе значення мають і структурно-хімічні особливості: тип кристалічної гратки, наявність вакансій, дислокацій, домішкових атомів, які можуть істотно змінювати електронну структуру матеріалу та спричиняти появу локальних енергетичних рівнів у забороненій зоні.

Особливу роль відіграють поверхневі стани напівпровідників, які впливають на контактні явища, адсорбцію молекул, формування бар'єрів Шотткі та p–n переходів. Хімічна активність поверхні визначає характер її взаємодії з окисниками, кислотами, органічними реагентами. Це має вирішальне значення у технологічних процесах, таких як травлення, оксидування, легування та пасивація, що визначають якість готових структур.

Дослідження фізико-хімічних властивостей дозволяють контролювати не лише характеристики кристалів, а й наноровневі явища, зокрема дифузію домішок, рекомбінацію носіїв заряду, міжфазні реакції. Сучасні методи — такі як ІЧ- та Раман-спектроскопія, фотоелектронна спектроскопія, атомно-силова мікроскопія — забезпечують детальне вивчення складу, структури та енергетичних параметрів поверхонь.

Значний інтерес становлять наноструктуровані напівпровідники та гетероструктури, у яких контрольована зміна складу дозволяє отримати нові функціональні властивості: підвищену фоточутливість, квантові ефекти провідності, термоелектричну ефективність. Такі матеріали активно застосовують у енергетиці та біомедичних сенсорах.

Таким чином, фізико-хімічні властивості напівпровідникових матеріалів є фундаментальною основою для створення високотехнологічних електронних, оптичних і сенсорних пристроїв. Подальші дослідження, спрямовані на керування хімічною стабільністю, структурною досконалістю та електронними параметрами, відкривають широкі перспективи розвитку наноелектроніки, фотоніки й квантових технологій майбутнього.

1. Фізико-хімічні основи напівпровідникового матеріалознавства : навч. посіб. / уклад. Е. В. Майструк, І. П. Козярський, Д. П. Козярський, П. Д. Мар'янчук. Чернівці : Чернівец. нац. ун-т ім. Ю. Федьковича, 2020. 120 с.

2. Wang, X. Recent advances in semiconductor materials and devices. *Physica Status Solidi (RRL) – Rapid Research Letters*. 2024. e2400198. https://doi.org/10.1002/pssr.202400198

3. Wang Z., Liu S., Zhang H., & Li Y. Two-dimensional wide band-gap nitride semiconductor materials: fabrication, properties and potential applications. *Journal of Materials Chemistry C*. 2021. 9(44), 15732–15753. https://doi.org/10.1039/D1TC04022G

4. Wei L., Zhang X., & Zhao J. Recent progress in anisotropic 2D semiconductors: from fundamental physics to device applications. *Physica Status Solidi A*. 2021. 218(21), 2100204. https://doi.org/10.1002/pssa.202100204

5. Yu P. Y., & Cardona M. Fundamentals of Semiconductors: Physics and Materials Properties (4th ed.). Berlin: Springer. 2010. https://doi.org/10.1007/978-3-642-00710-1

КІНЕТИКА ВЗАЄМОДІЇ ТВЕРДИХ РОЗЧИНІВ $Zn_xCd_{1-x}Te$ З ТРАВНИКАМИ СИСТЕМИ I_2 - ДИМЕТИЛФОРМАМІД

Микитенко Андрій Миколайович
здобувач вищої освіти IV курсу, andreymuka1988@gmail.com
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Синицький Владислав Іванович
здобувач вищої освіти IV курсу, koskinaanna560@gmail.com
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Денисюк Роман Олександрович,
кандидат хімічних наук, доцент, denisuknet@ukr.net
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Чайка Микола Володимирович
кандидат хімічних наук, доцент,chaika@zu.edu.ua
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

В сучасній електроніці значною мірою використовуються напівпровідникові сполуки типу $A^{II}B^{VI}$, зокрема тверді розчини $Zn_xCd_{1-x}Te$. Використання таких матеріалів переважно зосереджено на створенні детекторів іонізуючого випромінювання (рентгенівських та гамма-променів), що працюють при кімнатній температурі. Також значні обсяги $Zn_xCd_{1-x}Te$ використовуються в якості детекторів для спектральної комп'ютерної томографії (КТ) [1].

Для отримання високоякісних детекторів необхідно отримувати пластини напівпровідників із заданою товщиною та структурою поверхні, що досягається на певному етапі процесами хімічної взаємодії. Розчини, що використовуються для хімічного травлення повинні володіти низькими швидкостями взаємодії та формувати якісну поліровану поверхню. Досить безпечні для використання та з відповідними характеристиками щодо травлення є розчини йоду в органічних розчинниках.

В роботі досліджено кінетику взаємодії поверхні $Zn_xCd_{1-x}Te$ (де x = 0,04; 0,1; 0,2) з травильними розчинами йоду в диметилформаміді. Проведено хіміко-динамічне поліруванню методом диску, що обертається з швидкістю обертання 82 об/хв. за температури 293 К. Швидкість розчинення визначали за допомогою годинникового індикатору 1-МИГП з точністю ± 0,5 мкм, шляхом вимірювання висоти зразка до та після розчинення. Після взаємодії поверхню зразка промивали 0,2М розчином $Na_2S_2O_3$ з метою усунення активного йоду та великою кількістю дистильованої води. Мікроструктуру поверхні напівпровідників після реакції досліджували за допомогою металографічного мікроскопу МИМ-7 з цифровою відеокамерою eTREK DCM800 (8Mpix) [3].

Визначено, що швидкості взаємодії монокристалів в досліджуваному інтервалі концентрацій йоду в диметилформаміді знаходиться в межах від 3 до 12 мкм/хв. Помітно, що швидкість розчинення зростає до вмісту йоду 25 мас.%, а потім зменшується для всіх досліджуваних напівпровідників, що пов’язано з утворенням малорозчинних сполук на поверхні. Найбільшими швидкостями розчинення володіє твердий розчин $Zn_{0,1}Cd_{0,9}Te$, що може бути пов’язано з розу порядкуванням кристалічної гратки в ході заміни атомів кадмію на цинк. В результаті аналізу поверхні після хімічного розчинення встановлено, що поліруючими властивостями володіють розчини йоду з вмістом від 15 до 25 мас. %

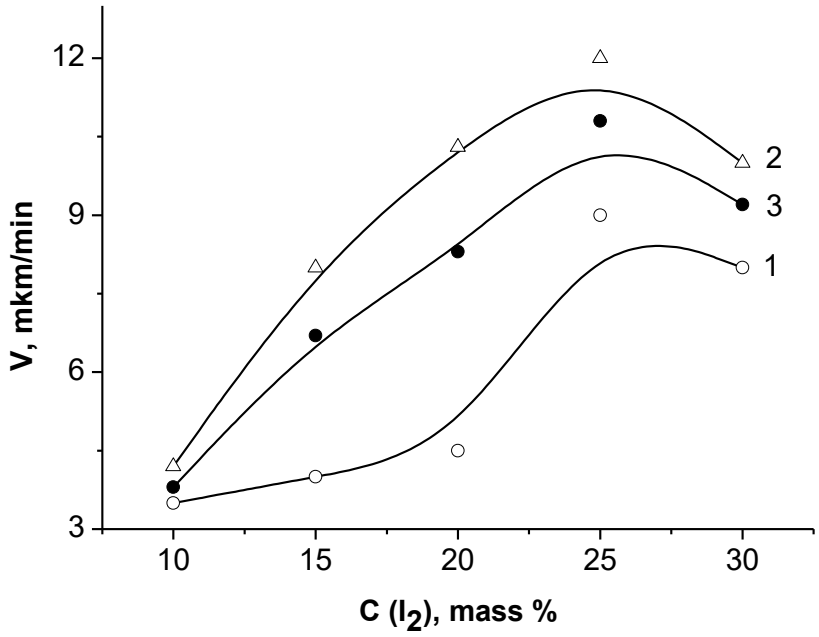


Рис. 1. Концентраційні залежності швидкості травлення (мкм/хв) $Zn_{0,04}Cd_{0,96}Te$ (1), $Zn_{0,1}Cd_{0,9}Te$ (2), та $Zn_{0,2}Cd_{0,8}Te$ (3) в розчинах I_2 – DMFA (T = 293 K, γ = 82 хв$^{-1}$).

Хіміко-динамічне розчинення твердих розчинів $Zn_xCd_{1-x}Te$ з швидкістю полірування 4-12 мкм/хв можна проводити методом диску, що обертається за температури 293К і швидкістю обертання диску 82 об/хв в травильних сумішах що містять 15-25 мас.% йоду в диметилформаміді. Після травлення поверхню необхідно промити 0,2М розчином $Na_2S_2O_3$ та великою кількістю дистильованої води.

1. Schillebeeckx P., Borella A., Bruggeman M., Rossa R. Cadmium Zinc Telluride Detectors for Safeguards Applications. In: Iniewski, K.(. (eds) Advanced Materials for Radiation Detection. Springer, Cham. 2022. https://doi.org/10.1007/978-3-030-76461-6_15

2. Денисюк Р. О., Томашик В. М., Чайка М. В., Камінський О. М., Писаренко С. В., Вовченко М. М. Хімічне травлення монокристалів $Mn_XCd_{1-X}Te$ розчинами HNO_3 – KI – диметилформамід. *Український журнал природничих наук*. 2024. № 10. С. 64-74. https://doi.org/10.32782/naturaljournal.10.2024.5

СИНТЕЗ АЛЮМІНАТІВ РІЗНОГО ФУНКЦІОНАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

Наумець Наталія Валеріївна,
здобувач другого (магістерського) рівня вищої освіти І курсу chem@ukr.net
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Камінський Олександр Миколайович,
кандидат хімічних наук, доцент, alexkamin@ukr.net
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Тітов Юрій Олександрович,
доктор хімічних наук, професор, chem@ukr.net
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Денисюк Роман Олександрович,
кандидат хімічних наук, доцент, denisuk@zu.edu.ua
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Чайка Микола Володимирович,
кандидат хімічних наук, доцент, laridae92@gmail.com
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Ходюк Олександр Васильович,
асистент кафедри хімії khodiuk-o@zu.edu.ua
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Алюмінати належать до класу сучасних неорганічних матеріалів, що характеризуються розвиненою поверхнею та комплексом унікальних фізико-хімічних властивостей, завдяки чому вони знаходять широке застосування в різних галузях промисловості. Зокрема, цинк алюмінат ($ZnAl_2O_4$) є представником складнооксидних матеріалів родини шпінелей. Ця сполука широко використовується як каталізатор або носій каталізатора, що зумовлено її високою термічною стабільністю, значною механічною та хімічною міцністю, а також низькою кислотністю поверхні.

Завдяки відносно широкій забороненій зоні (до 3,8 еВ) $ZnAl_2O_4$ вважається перспективним матеріалом для використання у виробництві діелектриків, оптичних елементів та сенсорів. Крім того, фотолюмінесцентні властивості $ZnAl_2O_4$ можуть бути керовано змінені шляхом легування іонами перехідних металів або рідкоземельних елементів [1].

У роботі [2] авторами було синтезовано цинкову шпінель ($ZnAl_2O_4$) аніонообмінним методом із шаруватих подвійних гідроксидів (LDH) із подальшою термічною обробкою. Досліджено механізм утворення фази, фотоактивність матеріалу, а також вплив типу аніона-замінника та температури термообробки. Хімічний склад, морфологію, фазову структуру, пористість і фотокаталітичні властивості зразків проаналізовано за допомогою комплексу методів, зокрема термогравіметричного аналізу, сканувальної електронної мікроскопії, енергодисперсійної рентгенівської спектроскопії, порошкової рентгенівської дифракції, газосорбційного аналізу та ультрафіолетово-видимої спектроскопії.

Встановлено, що мезопористий α-$ZnAl_2O_4$ характеризується середнім розміром кристалітів 9,3 нм, загальним об’ємом пор 0,337 см³/г і питомою площею поверхні 206,13 м²/г, визначеною методом БЕТ. Фотокаталітичні властивості α-$ZnAl_2O_4$ досліджувалися у процесі відновлення п-нітрофенолу під дією видимого світла протягом 9 хвилин, що підтвердило його високу фотоактивність.

На рис. 1. показано SEM фотографії зразків ZAP-LDH, α-$ZnAl_2O_4$, β-$ZnAl_2O_4$ та EDX спектр продукту α-$ZnAl_2O_4$.

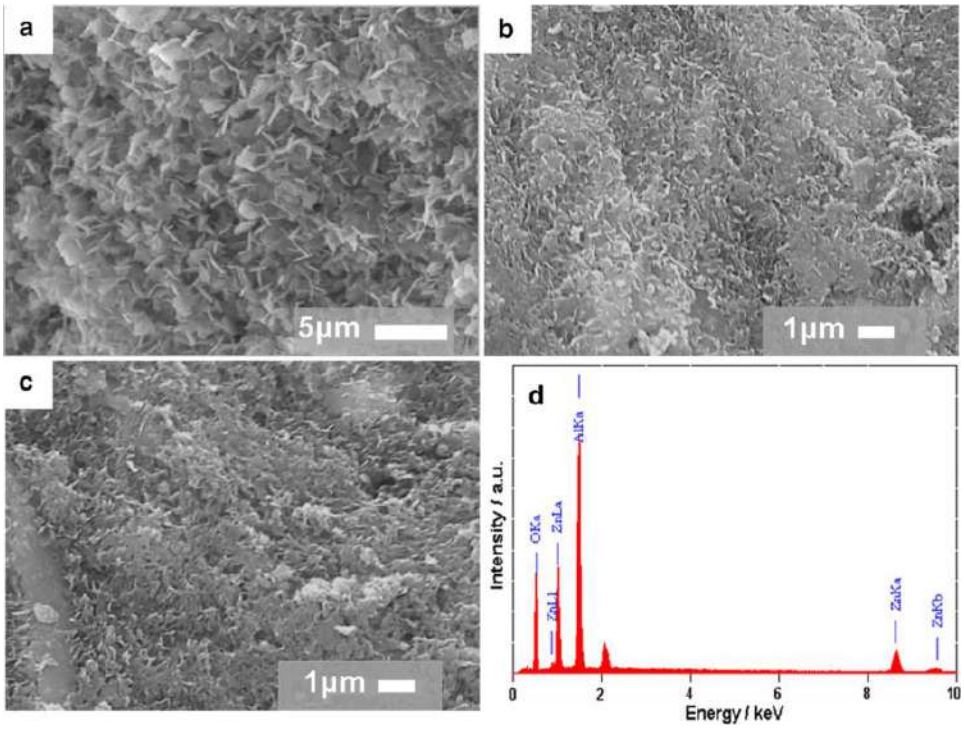


Рис. 1. SEM фотографії зразків ZAP-LDH (a), α-$ZnAl_2O_4$ (b), β-$ZnAl_2O_4$ (c) та EDX спектр продукту α-$ZnAl_2O_4$ (d) [2]

У роботі [3] представлено дослідження з одержання гібридного матеріалу, сформованого шляхом осадження ієрархічних структур Zn/Al на поверхню целюлози методом гідролізу сечовини. Було проведено всебічну оцінку морфологічних, спектроскопічних і сорбційних характеристик отриманого матеріалу. За результатами морфологічного та спектроскопічного аналізів підтверджено успішне осадження неорганічних структур на целюлозній матриці.

Підвищення термічної стабільності отриманого гібридного матеріалу додатково підтверджено за допомогою термогравіметричного аналізу (TGA). Крім того, на основі теорії Кубелка-Мунка визначено енергію забороненої зони, яка становить 3,71 еВ.

1. Song J., Leng M., Fu X., Liu J. Synthesis and characterization of nanosized zinc aluminate spinel from a novel Zn-Al layered double hydroxide precursor. *Journal of Alloys and Compounds*. 2012. Vol. 543. P. 142-146. https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2012.07.111

2. Putra, Ageng An improved method for high photocatalytic performance of $ZnAl_2O_4$ spinel derived from layered double hydroxide precursor. *SN Applied Sciences*. 2020. Vol. 2. https://doi.org/10.1007/s42452-020-2682-7

3. Viscusi G. Fabrication of hierarchical Zn-Al structures onto cellulose through urea hydrolysis methodology: Design and study of physical properties. *Journal of Molecular Structure*. 2024. Vol. 1295, Part 1. 136739. https://doi.org/10.1016/j.molstruc.2023.136739

КІНЕТИКА ВЗАЄМОДІЇ ІЛЬМЕНІТОВОГО КОНЦЕНТРАТУ З СОЛЯМИ КАЛІЮ

Нюкало Владислав Олегович,
здобувач другого (магістерського) рівня вищої освіти II курсу johnbrawis.gov@gmail.com
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Віленський Володимир Олексійович
професор кафедри хімії, доктор хімічних наук, професор, Vilensky@zu.edu.ua
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Денисюк Роман Олександрович,
кандидат хімічних наук, доцент, denisuk@zu.edu.ua
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Ільменітовий концентрат, основний компонент якого $FeTiO_3$ є основною сировиною для добування титану та його сполук. Одним з перспективних напрямів переробки є хімічна активація в системах «ільменіт – солі калію» (KCl, K_2SO_4, K_2CO_3), які виступають як джерело мобільних йонів і можуть змінювати реактивність ільменіту при високих температурах [1-2].

Дослідження показують, що реакції взаємодії часто мають змішаний механізм взаємодії: на ранніх стадіях швидкість обмежена кінетикою реакції на поверхні частинки та адсорбцією іонів, а на пізніших – дифузією у твердих фазах або транспортом через рідку (розплавлену) сіль. [3-4].

Варіюючи температуру та склад вилуговувала можна досягти оптимальних умов переведення сполук титану в більш реакційні сполуки.

Для дослідження впливу співвідношення реагентів на процес утворення калій титанату було проведено серію експериментів, у яких варіювали масову частку калій гідроксиду (від 0 до 40 %) та калій карбонату (від 60 до 100 %) при постійній масі ільменітового концентрату. Суміші піддано нагріванню при температурі 210-220 °С протягом 60 хв із наступним розчиненням та фільтруванням продуктів реакції. Концентрацію іонів титану (Ti^{4+}) у фільтратах визначали колориметричним методом за інтенсивністю забарвлення пероксититанатного комплексу. Отримана залежність представлена на рис. 1.

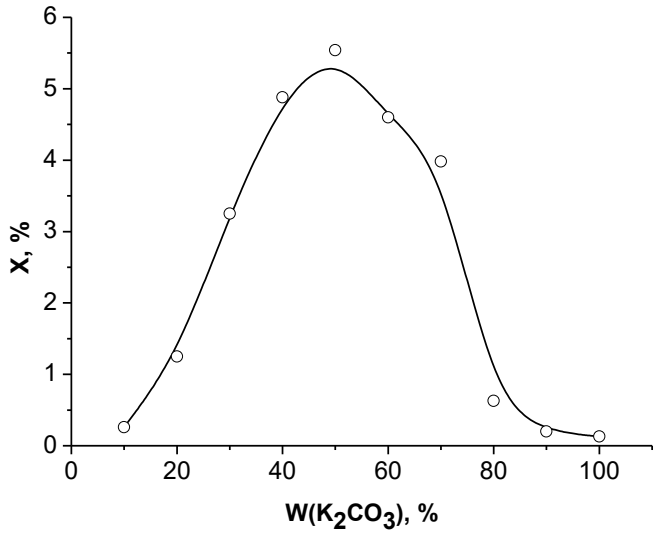


Рис. 1. Залежність ступеня вилучення Ti^{4+} від вмісту K_2CO_3 в суміші з КОН (t = 120 хв, Т = 220 °С)

Встановлено, що найбільший вихід калій титанату досягається при співвідношенні 30 % KOH та 70 % K_2CO_3, що зумовлено оптимальним поєднанням основних і карбонатних властивостей реагентів, які забезпечують активне протікання твердофазної реакції між ільменітом і лужними сполуками.

Для встановлення впливу температурного чинника на процес утворення калій титанату було проведено дослідження з оптимальним співвідношенням вилуговувачів (30 % KOH + 70 % K_2CO_3). Взаємодію проведено при температурах від 200 до 250 °С протягом 120 хв. (рис. 2).

Встановлено, що зі зростанням температури до 230–240 °С інтенсивність утворення K_2TiO_3 спадає, після чого спостерігається зріст, стабілізація або незначне зниження активності процесу, що може бути пов'язано з частковим розкладом або рекристалізацією проміжних фаз.

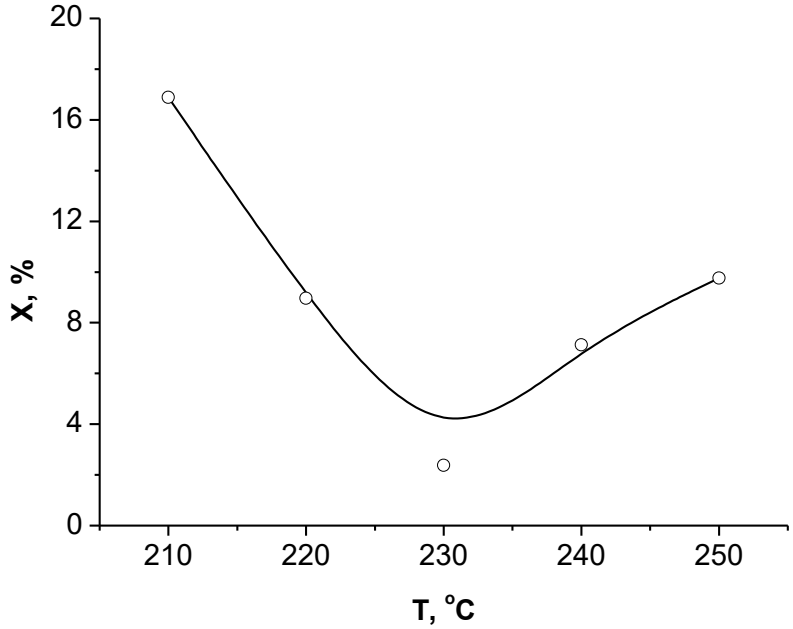


Рис. 2. Залежність ступеня вилучення Ti^{4+} від температури взаємодії (t = 120 хв, W (K_2CO_3) = 30%).

В ході досліджень встановлено, що максимальний вихід під час синтезу калій титанату досягається за температури 210–220 °С з використанням у якості вилуговувала суміші (30 % KOH + 70 % K_2CO_3) протягом 120 хв.

1. Fredrik Hildor Maria Zevenhoven Anders Brink Leena Hupa Henrik Leion. Understanding the Interaction of Potassium Salts with an Ilmenite Oxygen Carrier Under Dry and Wet Conditions. ACS Omega. 2020. URL: https://doi.org/10.1021/acsomega.0c02538 (дата звернення: 16.09.2025).

2. Zevenhoven M., Sevonius C., Salminen P., Lindberg D., Brink A., Yrjäs P., Hupa L. Defluidization of the oxygen carrier ilmenite – Laboratory experiments with potassium salts. Energy. 2018;148:930–940. URL: https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.01.184. (дата звернення: 18.09.2025)

3. Andersson V., et al. Alkali desorption from ilmenite oxygen carrier particles (research on alkali release/retention and effect on oxygen carrying capacity). Journal. Preprint (2024) (дата звернення: 16.09.2025)

4. Lu D.Y., et al. Potassium capture by ilmenite ore as the bed material — дослідження адсорбції калію на ільменіті, TGA, вплив на реактивність. Fuel Processing. Journal (2023). URL: https://doi.org/10.1016/j.fuel.2022.127008 (дата звернення: 17.09.2025)

ОДЕРЖАННЯ СТАБІЛЬНИХ НАНОЧАСТИНОК МІДІ

Орос Ріхард Михайлович,
здобувач ІІ курсу, orosz.richard.b20km@kmf.org.ua
Закарпатський угорський університет імені Ференца Ракоці ІІ, Україна

Сабов Мар'ян Юрійович,
кандидат хімічних наук, доцент, szabo.marjan@kmf.org.ua
Закарпатський угорський університет імені Ференца Ракоці ІІ, Україна
ДВНЗ «Ужгородський національний університет, Україна

Останні роки наночастинки (НЧ) металів привертають значну увагу завдяки широкому спектру унікальних оптичних, електронних, каталітичних та антимікробних властивостей, відмінних від властивостей об'ємних металів. Це спричиняє можливість їх широкого застосування у найрізноманітніших галузях: біомедицині, каталізі, енергетиці, електроніці, охороні оточуючого середовища, сенсоріці [1]. Серед НЧ металів одним із найдосліджуваних є НЧ міді, що пов'язано із поширеністю у природі та відносною дешевизною міді, а також наявністю численних функціональних властивостей, такі як антимікробна, каталітична активність, оптичні властивості, висока провідність, тощо [2]. Це робить їх конкурентними із НЧ благородних металів, однак на відміну від них, НЧ міді є більш реакційно здатними і в процесі синтезу схильні до окиснення, що робить оптимізацію умов синтезу НЧ міді актуальним завданням.

Виходячи із сказаного метою даного дослідження було відпрацювання простого у виконанні методу синтезу НЧ міді.

Серед найрізноманітніших методів синтезу НЧ металів найбільш простим, економічним, контрольованим та ефективним є хімічне відновлення із розчинів. Найпоширенішим є використання водних розчинів. При одержанні НЧ міді у якості прекурсора використовують розчини $CuSO_4$ або $CuCl_2$, рідше $Cu(NO_3)_2$ та $Cu(CH_3COO)_2$ [3]. Як стабілізатори використовують різноманітні органічні речовини (аскорбінова, олеїнова, різноманітні амінокислоти, різноманітні водорозчинні полімери, зокрема полівінілпіролідон, рослинні екстракти), із неорганічних є відомості лише щодо натрій метафосфату. Відновниками слугують ті ж, що використовуються при одержанні НЧ інших металів, а саме: натрій боргідрид, аскорбінова кислота та гідразин. Процеси здійснюються як правило, при температурах 60-80^{0}C в часовому інтервалі 1-42 години [4]. Для перешкоджання окиснення міді використовують різні методи: деаерація (витіснення кисню шляхом пропускання азоту або аргону через розчин) розчину до та/або в процесі і після синтезу, зберігання виділених НЧ у атмосфері азоту/аргону, а НЧ у вигляді колоїдних розчинів, ще й у темноті [5].

Оскільки метою було розробити просту у використані методику одержання НЧ міді процес деаерація нами не проводився. В ході виконання роботи використовували водні розчини $CuSO_4$ та $CuCl_2$ різної концентрації (0,1 М, 0,01 М та 0,001 М). Досліди проводилися за різної температури. Розчини солей у конічних колбах розміщувалися на магнітній мішалці із підігрівом і при постійному перемішуванні до розчину добавляли відновник. Тривалість досліду складав до 1 години. Ми протестували кілька варіантів відновників: глюкозу, аскорбінову кислоту та гідразингідрат. При використанні глюкози утворювався колоїд жовтого кольору, що вказувало на формування НЧ купрум(I) оксиду, що доводили також смуги поглинання в області 440-480 нм на UV-Vis спектрах. Використання 5 %-ого розчину аскорбінової кислоти в якості відновника, навіть протягом 1-ої години не дав бажаного ефекту. Попередні досліди виконувалися без використання стабілізатора, але при повільному додаванні гідразин гідрату як відновника агрегація не спостерігалася, однак на стінках колби появлявся мідний наліт («мідне дзеркало»). У зв'язку із цим у наступних дослідах ми використали стабілізатор – натрій додецилсульфат (0.1 М розчин), який при синтезі НЧ міді застосовується не часто, однак широко поширений у якості стабілізатора при синтезі НЧ

золота та срібла. Враховуючи, що гідразин гідрат ефективний відновник у лужному середовищі, для розчинів солей купруму попередньо установлювався pH=11 за допомогою, в одному випадку, розчину NaOH, у другому NH_4OH. Було досліджено спектри поглинання отриманих розчинів у видимій області спектру. На спектрах чітко проявлялися рефлекси в близько 570-590 нм, що відповідає довжині хвилі плазмонного резонансу НЧ міді.

Було встановлено, що оптимальною концентрацією розчину купрумвміщуючих солей є 0.01 моль/л, а підвищення температури може викликати часткову агрегацію суттєво не впливаючи на швидкість процесу.

Додаткову ідентифікацію здійснювали методом рентгенівської дифракції, для чого розчин відфільтровували, а фільтр із НЧ сушили в ексікаторі в атмосфері повітря протягом тижня. Оскільки в експерименті використовувалися незначні об'єми вихідних розчинів (40 мл), дифрактограми знімались із кінцевих продуктів на фільтрувальному папері. Для врахування рефлексів паперу було також знято дифрактограму чистого фільтрувального паперу (рис.1).

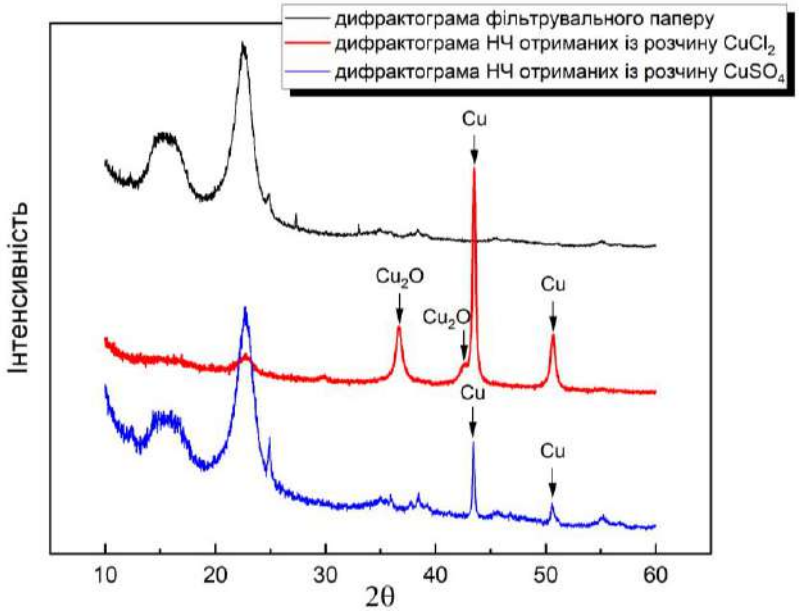


Рис 1. Дифрактограма НЧ, отриманих з розчинів $CuSO_4$, $CuCl_2$ та фільтрувального паперу

У випадку НЧ отриманих із розчину $CuCl_2$ на дифрактограмах окрім рефлексів міді проявляються також рефлекси купрум(I) оксиду. Таким чином, було відпрацьовано швидку та просту у виконанні методику отримання стабільних протягом тижня НЧ міді із водного розчину $CuSO_4$. В подальшому планується масштабувати дану методику.

1. Sowmya N., Mohanty D., Nirosha B., Uttam Kumar N., Patra P. K. A Systematic Review Of Metallic Nanoparticles: Synthesis, Biological Activities & Applications. *Journal of Pharmaceutical Negative Results*. 2023. 14 (Special Issue 02). 2525-2533.

2. Din, M. I., Rehan, R. Synthesis, characterization, and applications of copper nanoparticles. *Analytical Letters*. 2017. 50(1). 50–62.

3. Khodashenas, B., & Ghorbani, H. R. (2014). Synthesis of copper nanoparticles : An overview of the various methods. *The Korean Journal of Chemical Engineering*, *31*(7), 1105–1109.

4. Gawande M.B., Goswami A., Felpin F-X., Asefa T., Huang X., Silva R., Zou X., Zboril R., Varma R.S. Cu and Cu-Based Nanoparticles: Synthesis and Applications in Catalysis. *Chem. Rev.* 2016. 116(6). 3722–3811.

Umer, A., Naveed, S., Ramzan, N., & Rafique, M. S. (2012). Selection of a suitable method for the synthesis of copper nanoparticles. *Nano*, *07*(05), 1230005.

ВИЗНАЧЕННЯ ТОЧКИ НУЛЬОВОГО ЗАРЯДУ TiO_2, ДОПОВАНОГО Nd

Палій Юрій Олександрович,
здобувач вищої освіти ІІІ курсу, yurii.palii.23@pnu.edu.ua
Карпатський національний університет імені Василя Стефаника, Україна

Микитин Ігор Михайлович,
кандидат технічних наук, доцент, ihor.mykytyn@pnu.edu.ua
Карпатський національний університет імені Василя Стефаника, Україна

Прокіпчук Ірина Віталіївна,
провідний фахівець навчальної лабораторії кафедри хімії, iryna.prokipchuk@pnu.edu.ua
Карпатський національний університет імені Василя Стефаника, Україна

Діоксид титану (TiO_2) є одним з найбільш широко використовуваних наноматеріалів на основі оксидів металів. Завдяки своїм фотокаталітичним, оптичним і електронним властивостям він є цінним матеріалом для очищення довкілля, перетворення енергії та сенсорних застосувань. Модифікація TiO_2 рідкоземельними елементами, такими як неодим (Nd), може суттєво змінити його поверхневі та електронні властивості, покращуючи розділення зарядів та розширюючи поглинання світла у видимій області. Розуміння поведінки поверхневого заряду таких легованих систем є важливим для взаємодії з іонами, молекулами та забруднювачами у водних середовищах.

Хімія поверхні наночастинок оксиду металу відіграє вирішальну роль у визначенні їхньої адсорбційної, каталітичної та фотокаталітичної поведінки [1]. Ключовими групами на поверхні діоксиду титану є оксигени і гідроксильні групи, які утворюють водневі зв'язки при сорбції органічних молекул. Поверхневі гідроксильні групи здатні депротонуватися, їх кислотність залежить від електронно-акцепторних властивостей титану та допуючих елементів. pH, при якому кількість протонованих та непротонованих гідроксильних груп рівна, а поверхня стає нейтральною, показує точка нульового заряду ($pH_{ТНЗ}$).

Діоксид титану допований неодимом синтезували шляхом співосадження з розчину в присутності карбонату натрію та оксалату натрію (TiO_2-Nd-$Na_2C_2O_4$) і карбонату натрію та оксалатної кислоти (TiO_2-Nd-$H_2C_2O_4$).

Включення неодиму в решітку TiO_2 призводить до помітного зсуву $pH_{ТНЗ}$ у бік більш кислих значень – від 4,17 для чистого TiO_2 (анатазу) до 3,15 для TiO_2-Nd-$Na_2C_2O_4$ і для 2,89 TiO_2-Nd-$H_2C_2O_4$. Це зміщення вказує на збільшення поверхневої кислотності легованих матеріалів, ймовірно, спричинене замісним включенням іонів Nd^{3+} і утворенням вакансій кисню, які модифікують розподіл і реакційну здатність поверхневих гідроксильних груп. Такі поверхневі зміни впливають на взаємодію оксиду з зарядженими частинками у водних системах і можуть посилювати процеси адсорбції та фотокаталізу під дією випромінювання видимого світла.

Різницю $pH_{ТНЗ}$ між TiO_2-Nd-$Na_2C_2O_4$ та TiO_2-Nd-$H_2C_2O_4$ можна пояснити впливом середовища осадження на хімію поверхні легованого оксиду. Використання оксалатної кислоти призводить більш сильного заміщення гідроксильних груп на кислотні групи, що зміщує точку нульового заряду до нижчого pH. Таким чином, різниця в $pH_{ТНЗ}$ визначається не лише включенням Nd^{3+}, але й природою протиіонів, присутніх під час синтезу, та їх впливом на поверхневі ділянки та компенсацію заряду.

Отримані дані підтверджують, що легування неодимом ефективно регулює поверхневу хімію TiO_2, тим самим розширюючи його потенційне застосування в екологічних та каталітичних технологіях.

1. Kosmulski M. Surface Charging and Points of Zero Charge. CRC Press, 2009. 1092 p.

КРИСТАЛОХІМІЧНИЙ АНАЛІЗ НАНОЧАСТИНОК ZnS СИНТЕЗОВАНИХ ЕЛЕКТРОХІМІЧНИМ МЕТОДОМ

Пух Марина Олегівна,
учениця 11 класу, marinapukh2008@gmail.com
Нововолинський науковий ліцей Волинської обласної ради, Україна

Смітюх Олександр Вікторович,
кандидат хімічних наук, доцент кафедри неорганічної та фізичної хімії,
Smitiukh.Oleksandr@vnu.edu.ua
Волинський національний університет імені Лесі Українки, Україна

Літковець Світлана Василівна,
Заслужений учитель України, вчитель хімії, litkovecsvitlana70@gmail.com
Нововолинський науковий ліцей Волинської обласної ради, Україна

Янчук Олександр Миколайович,
кандидат хімічних наук, доцент, yanchuk59@gmail.com
Нововолинський науковий ліцей Волинської обласної ради, Україна

У сучасних матеріалознавчих дослідженнях наночастинки цинк сульфіду (ZnS) посідають важливе місце завдяки своїм унікальним оптичним, електронним та фотокаталітичним властивостям, які суттєво відрізняються від характеристик об'ємного матеріалу. ZnS є типовим напівпровідником II–VI групи, який може кристалізуватися у двох основних модифікаціях — сфалеритній (кубічній) та вюртцитній (гексагональній). Перехід між цими структурами залежить від умов синтезу, зокрема температури, pH середовища, концентрації йонів, а також від методу отримання [1–3].

З розвитком нанотехнологій зросла увага до методів контрольованого синтезу нанорозмірного ZnS, серед яких вагоме місце посідають електрохімічні методи осадження. Вони дають змогу точно регулювати розмір частинок, морфологію та фазовий склад завдяки зміні потенціалу, густини струму та складу електроліту [4]. На відміну від традиційних хімічних чи гідротермальних способів, електрохімічний синтез не потребує високих температур, що робить його екологічно безпечним і енергоефективним.

Кристалохімічний аналіз наночастинок ZnS передбачає вивчення типу кристалічної ґратки, параметрів елементарної комірки, розміру кристалітів і дефектності структури. Для цього широко використовуються, зокрема, рентгенофазовий аналіз (XRD). Визначення параметрів гратки дозволяє оцінити ступінь напружень у нанокристалах і вплив поверхневих ефектів на енергетичну структуру матеріалу [5,6].

Дослідження показали, що зі зменшенням розміру частинок ZnS відбувається зміщення краю оптичного поглинання в короткохвильову область, що зумовлено квантово-розмірним ефектом. Це відкриває можливості використання таких наночастинок у фотокаталізі, біосенсорах, люмінофорах, тонкоплівкових сонячних елементах та детекторах випромінювання [7,8].

Згідно з інформацією у доступних нам матеріалах встановлено, що морфологічні параметри наночастинок ZnS, синтезованих електрохімічно, істотно залежать від природи електроліту, типу катода, pH середовища та температури процесу. При використанні катодів з інертних матеріалів (Pt, C, ITO) утворюються сферичні наночастинки сферичної або стрижнеподібної форми з високим ступенем кристалічності. Введення домішок (Mn^{2+}, Cu^{2+}, Ag^{+}) дозволяє модифікувати енергетичну структуру і люмінесцентні властивості ZnS [9–11].

Отже, проведення кристалохімічного аналізу наночастинок ZnS, синтезованих електрохімічним методом, є актуальним завданням сучасного матеріалознавства. Це дозволяє встановити зв'язок між умовами синтезу, структурними характеристиками та

функціональними властивостями наноматеріалу, що має практичне значення для розробки нових наноструктурованих оптоелектронних і сенсорних пристроїв.

Згідно з експериментальними результатами проведеного дослідження, а саме рентгеноструктурного та ренґенофазового аналізу отриманих зразків (Рис.1) встановлено відсутність додаткових піків свідчить про однофазність зразка і відсутність домішкових фаз типу ZnO, ZnSe або металічного Zn. Таким чином, фазовий склад зразка представлений лише кубічною модифікацією ZnS (сфалеритом).

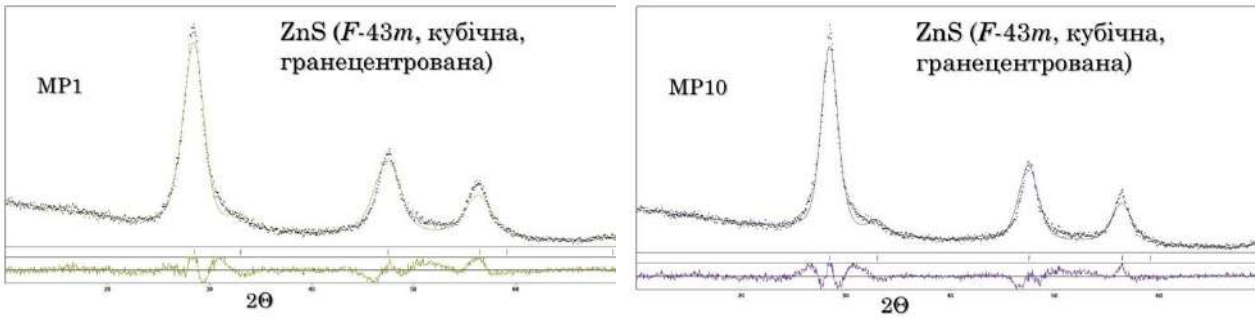


Рис.1. Теоретичні, різницеві та експериментальні дифрактограми зразків MP1, MP-10 (розраховані пакетом програм WINCSD)

На рис.2 представлено залежність параметру *a* елементарної комірки ZnS від умов синтезу, а на Рис.3 – залежність об'єму елементарної комірки *V* ZnS від умов синтезу.

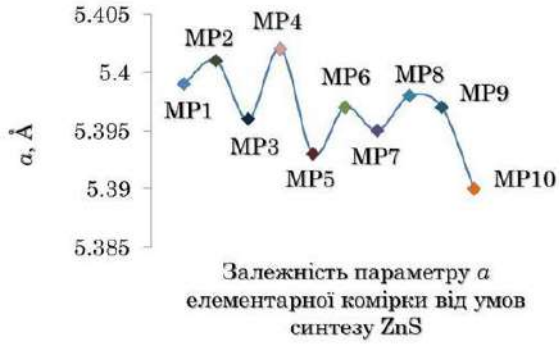


Рис.2. Залежність параметру *a* елементарної комірки ZnS від умов синтезу

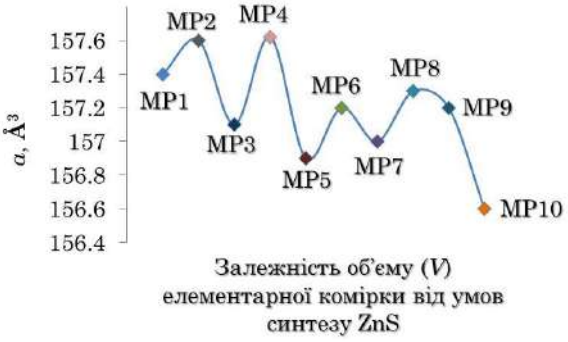


Рис.3. Залежність об'єму елементарної комірки (*V*) ZnS від умов синтезу

Вакансії Zn або S, а також міжвузлові Zn інтерстиції (Zn(_i)) змінюють середню вузлову відстань. Надлишок Zn призводить до збільшення (*a*), (*V*). Нестача *S* або скомпенсована нестехіометрія призводить до зменшення об'єму через компактніший розподіл атомів. Сторонні домішки (наприклад O) у матриці атомів S може зменшувати або збільшувати параметри в залежності від заміщуючого атома і його радіусу. Дрібніші кристаліти (нанорозмірний D) часто показують розширення параметрів через поверхневий тиск/деформацію; більші зерна — ближче до літературних значень.

Ширина дифракційних ліній (особливо для (111)) дозволяє оцінити середній розмір кристалітів за формулою Шеррера:

$$D = K\lambda/\beta\cos\Theta$$

Для ZnS при λ = 1,5406 Å (CuKα), $\beta \approx$ 1.7-2.1°, $\theta \approx$ 14,25° отримано D ≈ 4÷5 нм, що свідчить про нанокристалічну структуру зразка MP10. Дещо розширені піки також вказують на наявність мікродеформацій ґратки, зумовлених дефектами типу вакансій або міжвузлових атомів.

1. Cullity B. D., Stock S. R. Elements of X-Ray Diffraction. Prentice Hall, 2014. 3rd Edition. 654 pp.

2. Rita John, S. Sasi Florence. Structural and optical properties of ZnS nanoparticles synthesized by solid state reaction method. *Chalcogenide Letters*. 2009. Vol. 6, No. 10. P. 535 – 539.

3. Louis Brus. Electronic wave functions in semiconductor clusters: experiment and theory. *J. Phys. Chem.* 1986. 90. 12. 2555–2560. https://doi.org/10.1021/j100403a003

4. Smitiukh O. V., Marchuk O. V., Yanchuk O. M., Khmaruk Yu. O. J. Nanoparticles of ZnO/ZnS: Electrochemical Synthesis, Analysis and Prospective Applications. *Nano- Electron. Phys.* 2024. 16(1). 01024. https://doi.org/10.21272/jnep.16(1).01024

5. Klug H. P. and Alexander L. E. X-Ray Diffraction Procedures for Polycrystalline and Amorphous Materials. 2nd Edition, John Wiley and Sons, New York, 1974. 618-708. https://www.scirp.org/reference/referencespapers?referenceid=1487946

6. Xianghua Zeng, Shunjun Yan, Jieya Cui, Hongfei Liu, Jing Dong, Weiwei Xia, Min Zhou, Haitao Chen. Size- and morphology-dependent optical properties of ZnS: Al one-dimensional structures. *J Nanopart Res*. 2015. 17, 188. https://doi.org/10.1007/s11051-015-3000-y

7. Lubomir Spanhel, Marc A. Anderson. Semiconductor clusters in the sol-gel process: quantized aggregation, gelation, and crystal growth in concentrated zinc oxide colloids. *Am. Chem. Soc*. 1991, 113. 8. P. 2826–2833. https://doi.org/10.1021/ja00008a004 91

8. Yuzhen Shen, Christopher S. Friend, Yan Jiang, Daniel Jakubczyk, Jacek Swiatkiewicz, Paras N. Prasad. Nanophotonics: Interactions, Materials, and Applications. *J. Phys. Chem. B*. 2000, 104(32). P. 7577–7587. https://doi.org/10.1021/jp0016131

9. Azmand A., Kafashan H. Physical and electrochemical properties of electrodeposited undoped and Se-doped ZnS thin films. *Ceramics International*. 2018. 44(14). P. 17124-17137. https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2018.06.166

10. D. Amaranatha Reddy, Chunli Liu·R. P. Vijayalakshmi, Borra krishnamma reddy. Effect of Al Doping on the Structural, Optical and Photoluminescence Properties of ZnS Nanoparticles. *Journal of Alloys and Compounds*. 2014. 582:257-264. https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2013.08.051

11. Corneliu Ghica, Ionut Enculescu, Leona Cristina Nistor, Elena Matei, Gustaaf van Tendeloo. Electrochemical growth and characterization of nanostructured ZnO thin films. *Journal of Optoelectronics and Advanced Materials*. 2008. 10(12). P. 3237-3240.

ТРИАНГУЛЯЦІЯ КВАЗІПОТРІЙНОЇ СИСТЕМИ $Ag_2S–Bi_2S_3–SnS_2$

Семенюк Віталія Олегівна
аспірант ІІІ року навчання, Semeniuk.Vitaliia@vnu.edu.ua
Волинський національний університет імені Лесі Українки, Україна

Бодашко Софія Андріївна
здобувач освіти ІІ курсу магістратури, sophiabodashko29@gmail.com
Волинський національний університет імені Лесі Українки, Україна

Піскач Людмила Василівна
кандидат хімічних наук, професор, Piskach.Lyudmyla@vnu.edu.ua
Волинський національний університет імені Лесі Українки, Україна

Дослідження фізико-хімічної взаємодії компонентів у квазіпотрійній системі $Ag_2S–Bi_2S_3–SnS_2$ сприяє створенню перспективних у матеріалів, так як усі її сполуки мають практичне використання у напівпровідниковому матеріалознавстві.

Ag_2S завдяки вузькій забороненій зоні (0,9-1,05 еВ) [1] та високій хімічній стабільності може бути використаний у фотогальванічних елементах і інфрачервоних детекторах [2]. Ці властивості роблять його надзвичайно важливим для оптоелектроніки та енергетики.

Bi_2S_3 відноситься до ефективних термоелектричних перетворювачів енергії [3, 4].

SnS_2 має шарувату структуру та є напівпровідником *n*-типу з високою електричною провідністю, що робить його ефективним для використання в транзисторах та інших електронних компонентах. Маючи широку заборонену зону (~2,2-2,5 еВ), ця сполука є прозорою у видимому та інфрачервоному діапазонах, і може використовуватися в оптичних сенсорах і фільтрах [5, 6].

В обмежуючих квазіподвійних системах $Ag_2S–Bi_2S_3$ та $Ag_2S–SnS_2$ нами підтверджено існування п’яти проміжних тернарних фаз двокатіонного типу: $AgBiS_2$, Ag_8SnS_6, Ag_2SnS_3 із конгруентним характером плавлення при 1074 [7] 1121 та 936 К [8] відповідно, а також $AgBi_3S_5$ та $Ag_4Sn_3S_8$, що утворюються за перитектичними реакціями при 1005 [7] та 955 К [8] відповідно. Система $Bi_2S_3–SnS_2$ евтектичного типу (V тип діаграм стану за Розебомом) з координатами 860 К, її склад відповідає 52 мол. % SnS_2 [9].

Певні сполуки цієї системи зустрічаються в природі у вигляді мінералів, містять екологічно чисті елементи [10-13] та є перспективними напівпровідниковими матеріалами для техніки. Сонячні елементи на основі напівпровідникового матільдит $AgBiS_2$ є одним з провідних кандидатів для фотоелектричного перетворення [14]. Ag_8SnS_6, що належать до сімейства арґіродитів, може використовуватися для виробництва електроенергії [15, 16].

Кристалохімічні параметри сполук системи при умовах дослідження узгоджуються з літературними даними. ВТМ $AgBiS_2$, яка відповідає мінералу шапбахіту, є кубічною (ПГ *Fm*-3*m*) [7]; потрійна фаза з емпіричною формулою $AgBi_3S_5$, яка відповідає мінералу павоніту, є моноклінною (ПГ *C*2/*m*) [17]; Ag_8SnS_6 (канфілдит) кристалізується в орторомбічній сингонії, ПГ *Pna*2*1* [18]; Ag_2SnS_3 – в моноклінній, ПГ *C*2/*c* [19]; $Ag_4Sn_3S_8$ – в кубічній, ПГ $P4_132$ [20].

Всі ці потрійні сполуки при 570 К згідно РФА (дифрактометр ДРОН-4-13 у межах 2Θ = 10−70°; Cu Kα-випромінювання, крок сканування – 0,05°, експозиція у кожній точці – 4 с) дають внесок у фізико-хімічну взаємодію у квазіпотрійній системі $Ag_2S–Bi_2S_3–SnS_2$.

Після триангуляції та дослідження близько 50 зразків встановлено, що при температурі 570 К досліджувана квазіпотрійна система поділяється можливими рівноважними перерізами на шість вторинних часткових підсистем: $AgBiS_2–Ag_2S–Ag_8SnS_6$, $AgBiS_2–Ag_8SnS_6–Ag_2SnS_3$, $AgBiS_2–Ag_2SnS_3–Ag_4Sn_3S_8$, $AgBiS_2–Ag_4Sn_3S_8–SnS_2$, $AgBiS_2–SnS_2–AgBi_3S_5$ та $AgBi_3S_5–SnS_2–Bi_2S_3$. В середині системи ідентифіковано п’ять двофазних рівноваг між бінарними та тернарними сполуками: $AgBiS_2–Ag_8SnS_6$, $AgBiS_2–Ag_2SnS_3$, $AgBiS_2–Ag_4Sn_3S_8$, $AgBiS_2–SnS_2$, $AgBi_3S_5–SnS_2$. Наведена на рис. 1 сполука $Ag_3Bi_7S_{12}$ має аналогічну до $AgBi_3S_5$ структуру

(моноклінна сингонія, ПГ *C2/m)* [21] та імовірно є одним із складів твердого розчину на основі $AgBi_3S_5$.

При температурі відпалу дифрактограми усіх досліджених зразків рівноважних перерізів системи $Ag_2S–Bi_2S_3–SnS_2$ мають набори рефлексів, що відповідають сполукам Ag_2SnS_3, $Ag_4Sn_3S_8$ та твердим розчинам на основі $AgBiS_2$, $AgBi_3S_5$, Ag_8SnS_6, та SnS_2. На рис. 1 (*а-д*) представлено дифрактограми типових зразків перерізів $Bi_2S_3–SnS_2$ *(а)*, $AgBiS_2–Ag_8SnS_6$ *(б)*, $AgBiS_2–Ag_2SnS_3$ *(в)*, $AgBiS_2–Ag_4Sn_3S_8$ *(г)*, $AgBiS_2–SnS_2$ *(ґ)*, $AgBi_3S_5–SnS_2$ (*д)* відповідно. Вони не містять додаткових рефлексів, що могли б свідчити про утворення нових тетрарних сполук.

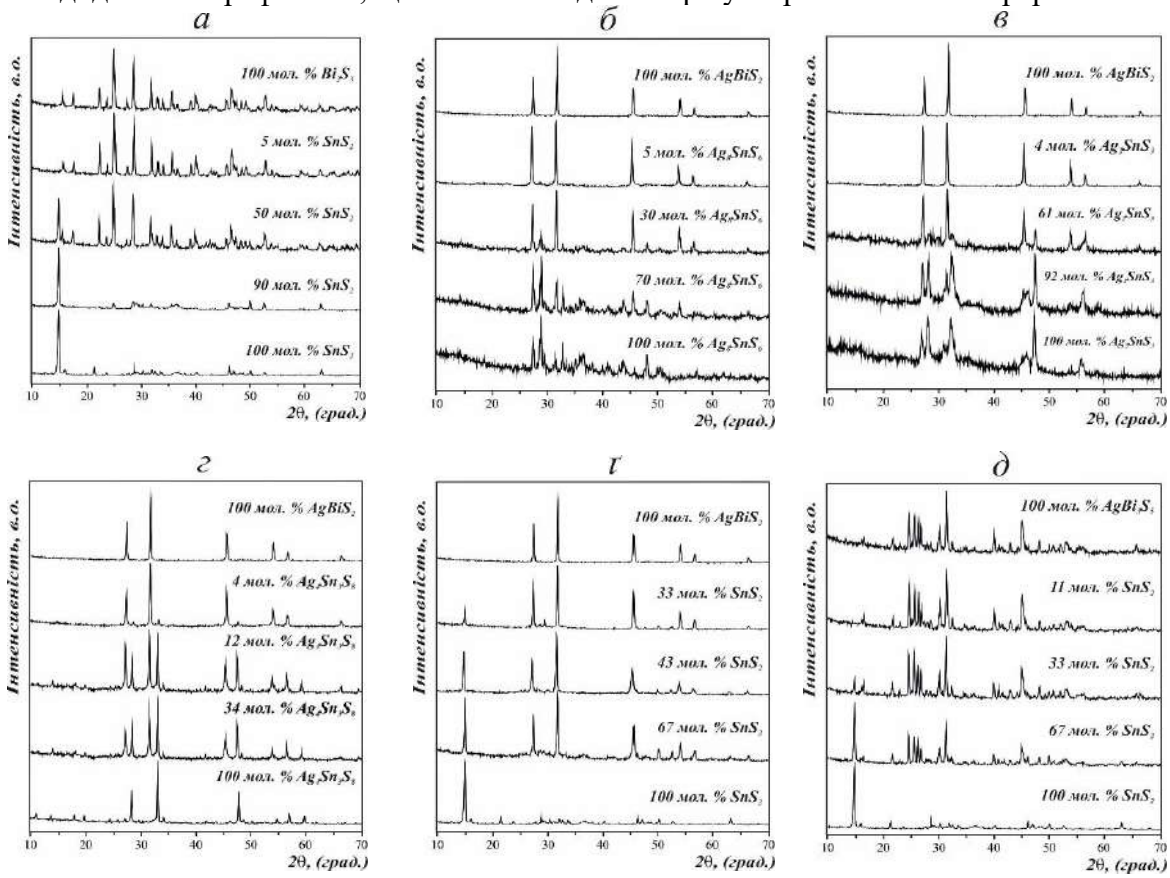


Рис. 1. Дифрактограми типових зразків перерізів системи $Ag_2S – Bi_2S_3 – SnS_2$: $Bi_2S_3 – SnS_2$ *(а)* [9], $AgBiS_2 – Ag_8SnS_6$ *(б)* [21], $AgBiS_2 – Ag_2SnS_3$ *(в)*, $AgBiS_2 – Ag_4Sn_3S_8$ *(г)*, $AgBiS_2 – SnS_2$ *(ґ)*, $AgBi_3S_5 – SnS_2$ (*д)*

З точки зору можливості утворення квазібінарних перерізів, то вони існуватимуть на перерізах, вихідні сполуки яких є конґруентними. В роботі [22] наведено побудовану діаграму стану системи $AgBiS_2–Ag_8SnS_6$. Ця діаграма характеризується евтектичним типом фазової взаємодії за реакцією $L \leftrightarrow \beta' + \delta'$, де β', δ' – тверді розчини, що кристалізуються на основі високотемпературних модифікацій $AgBiS_2$ та Ag_8SnS_6 відповідно. Евтектика плавиться при температурі 937 К за складу, що відповідає 33 мол. % Ag_8SnS_6. Підсолідусні нонваріантні процеси при 489 К та 526 К пов’язані з поліморфізмом вихідних тернарних сульфідів.

1. Sadovnikov S. I., Gusev A. I., Churkin A. V., Rempel A. A. High-temperature X-ray diffraction and thermal expansion of nanocrystalline and coarse-crystalline acanthite α-Ag_2S and argentite β- Ag_2S. *Phys. Chem. Chem. Phys.* 2016. 18(6). P. 4617–4626. https://doi.org/10.1039/C5CP07224G

2. Sadovnikov S. I., Chukin A. V., Rempel A. A., Gusev A. I. Polimorfnoe prevrashchenie v nanokristallicheskom sulfide serebra. *Fiz. Tverd. Tela.* 2016. 58(1). P. 32–38. https://doi.org/10.1134/S1063783416010273

3. Анатичук Л. І. Термоелементи та термоелектричні пристрої: довідник. Київ: Наукова думка, 1979. 768 с.

4. Ge Z. H., Zhang B. P., Shang P. P., Li J. F. Control of anisotropic electrical transport property of Bi_2S_3 thermoelectric polycrystals. *J. Mater. Chem.* 2011. 25. 9194. https://doi.org/10.1039/C1JM11069A

5. Shi C., Yang P., Yao M., Dai X., Chen Z. Preparation of SnS_2 thin films by close-spaced sublimation at different source temperatures. *Thin Solid Films*. 2013. 534. P. 28–31. https://doi.org/10.1016/j.tsf.2013.01.072

6. Burton L. A., et al. Electronic and optical properties of single crystal SnS_2: an earth-abundant disulfide photocatalyst. *J. Mater. Chem*. A. 2016. 4. P. 1312–1318. https://doi.org/10.1039/C5TA08214E

7. Tesfaye F., Lindberg D. Thermochemical properties of selected ternary phases in the Ag–Bi–S system. *J. Mater. Sci.* 2016. 51. P. 5750–5759. https://doi.org/10.1007/s10853-016-9877-8

8. Кохан О. П. Взаємодія в системах Ag_2X–$B^{IV}X_2$ (B^{IV} – Si, Ge, Sn; X – S, Se) і властивості сполук: дис. ... канд. хім. наук: 02.00.01. Ужгород, 1996. 21 с.

9. Семенюк В., Березнюк О., Климович О., Іващенко І., Бодашко С., Остап'юк Т., Піскач Л. Діаграми стану систем $C^{III}_2X_3$ – $D^{IV}X_2$ (C^{III} – As, Sb, Bi; D^{IV} – Ge, Sn, X – S, Se). *Пробл. хімії та сталого розв*. 2025. 2. P. 34–44. https://doi.org/10.32782/pcsd-2025-2-5

10. Golovach I. I., Gerasimenko V. S., Slivka V. Y., et al. Vitrification and optical and photoelectrical properties of $AgAsS_2$, $AgSbS_2$, and $AgBiS_2$. *Sov. Phys. J.* 1976. 19. P. 294–298. https://doi.org/10.1007/BF00945676

11. Chen H. M., Maohua C., Adams S. Stability and ionic mobility in argyrodite-related lithium-ion solid electrolytes. *Phys. Chem. Chem. Phys*. 2015. 17. P. 16494–16506. https://doi.org/10.1039/C5CP01841B

12. Ajiboye T. O., Mafolasire A. A., Lawrence S., et al. Composite and pristine silver bismuth sulphide: synthesis and up-to-date applications. *J. Inorg. Organomet. Polym.* 2024. 34. P. 433–457. https://doi.org/10.1007/s10904-023-02838-y

13. Voronin M. V., Osadchii E. G. Thermodynamic properties of silver and bismuth sulfosalt minerals: pavonite ($AgBi_3S_5$) and matildite ($AgBiS_2$) and implications for ore deposits. *Econ. Geol.* 2013. 108(5). P. 1203–1210. https://doi.org/10.2113/econgeo.108.5.1203

14. Kim C., Kozaki I., Kim J., Lee S. Y. Highly efficient (>9%) lead-free $AgBiS_2$ colloidal nanocrystal/organic hybrid solar cells. *Adv. Energy Mater.* 2022. 12. P. 2–9. https://doi.org/10.1002/aenm.202200262

15. Sturm C., Boccalon N., Ramirez D., Kleinke H. Stability and thermoelectric properties of the canfieldite Ag_8SnS_6. ACS Appl. *Energy Mater.* 2021. 4(9). P. 10244–10251. https://doi.org/10.1021/acsaem.1c02118

16. Belandria E., Avila R., Fernández B. J. Synthesis and Characterization of the Ternary Compound Ag_2SnS_3. *Jpn. J. Appl. Phys*. 2000. 39(S1). 132. https://doi.org/10.7567/JJAPS.39S1.132

17. Kim J.-H., Chung D-Y., Bilc D., Loo S., Short J., Mahanti S. D., Hogan T., Kanatzidis M.G. Crystal growth, thermoelectric properties and electronic structure of $AgBi_3S_5$ and $AgSb_xBi_{3-x}S_5$ (x = 0-3). *Chem. Mater*. 2005. 17. P. 3606–3614. https://doi.org/10.1021/cm0502931

18. Piskach L. V., Parasyuk O. V., Olekseyuk I. D. Interaction of argyrodite family compounds with the chalcogenides of II-b elements. *J. Alloys Compd.* 2006. 421(1-2). P. 98–104. https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2005.11.056

19. Fedorchuk A. O., Zhbankov O. Ye., Lakshminarayana G. Synthesis and spectral features of Ag_2SnS_3 crystals. *Mater. Chem. Phys*. 2012. 135(2-3). P. 249–253. https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2012.04.025

20. Hull S., Berastegui P., Grippa A. Ag^+ diffusion within the rock-salt structured superionic conductor $Ag_4Sn_3S_8$. *J. Phys.: Condens. Matter*. 2005. 17. P. 1067–1084. https://doi.org/10.1088/0953-8984/17/7/002

21. Perez-Mato J. M., Elcoro L., Makovicky E., Topa D., Petříček V., Madariaga G. Conspicuous variation of the lattice unit cell in the pavonite homologous series and its relation with cation/anion occupational modulations. *Mater. Res. Bull*. 2013. 48(6). P. 2166–2174. https://doi.org/10.1016/j.materresbull.2013.02.008

22. Семенюк В., Березнюк О., Гулай Л., Піскач Л. Перерізи $AgC^{III}S_2$–$Ag_8D^{IV}S_6$ систем Ag_2S–$C^{III}_2S_3$–$D^{IV}S_2$ (C^{III} – Sb, Bi; D^{IV} – Ge, Sn). *Праці НТШ.* LXXVIII. 2025 (в друці).

ВІД СЕНСОРІВ ДО НАНОТЕРАПІЇ: РОЛЬ НАПІВПРОВІДНИКОВИХ МОНОКРИСТАЛІВ У СУЧАСНІЙ МЕДИЦИНІ

Тімощук Олександр Олександрович,
здобувач вищої освіти IV курсу, timoshchuk1244@gmail.com
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Чайка Микола Володимирович,
кандидат хімічних наук, доцент кафедри хімії, laridae92@gmail.com
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Чайка Юлія Юріївна,
кандидат біологічних наук, старший викладач кафедри медико-біологічних дисциплін, juli.7110308@gmail.com
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Чумак Володимир Валентинович,
кандидат хімічних наук, доцент кафедри хімії, chumak@zu.edu.ua
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Напівпровідникові монокристали займають важливе місце у розвитку сучасної медичної техніки завдяки своїм унікальним електронним, оптичним та фотоелектричним властивостям. Висока структурна досконалість, хімічна стабільність і можливість цілеспрямованого легування роблять ці матеріали основою для створення високоточних сенсорних і діагностичних систем. Вони забезпечують функціонування складних пристроїв, де необхідна швидка реакція на зовнішні стимули, низький рівень шуму та стабільність сигналу.

Одним із найважливіших напрямів застосування напівпровідникових монокристалів є оптоелектроніка, зокрема виготовлення фотодетекторів і джерел випромінювання для медичної візуалізації — рентгенівських детекторів, інфрачервоних сенсорів, лазерних систем. Такі пристрої широко використовуються у комп'ютерній томографії, ендоскопії, флуоресцентній діагностиці, хірургічних лазерних установках. Наприклад, монокристали CdTe та тверді розчини на їх основі $Zn_xCd_{1-x}Te$ завдяки високій здатності до поглинання рентгенівського випромінювання використовуються як основа для детекторів у системах цифрової рентгенографії та ПЕТ-сканерах.

Іншим перспективним напрямом є розробка напівпровідникових біосенсорів, які забезпечують високочутливе виявлення біомолекул, глюкози, токсинів чи патогенів. Кремній, галій арсенід (GaAs), кадмій телурид (CdTe) та інші напівпровідникові монокристали використовуються як підкладки для формування тонких активних шарів, що взаємодіють із біологічними середовищами. Контроль мікрорельєфу та хімічного складу поверхні після технологічних операцій (зокрема полірування та травлення) є критично важливим для стабільності, чутливості та селективності таких сенсорів.

Особливу увагу останніми роками приділяють наноструктурованим напівпровідниковим матеріалам, які використовуються у фотодинамічній терапії ракових захворювань, зокрема системах цілеспрямованої доставки лікарських препаратів та моніторингу біопроцесів у режимі реального часу. Наночастинки та квантові точки на основі CdSe, ZnS, GaN та інших напівпровідникових матеріалів демонструють здатність перетворювати світлову енергію в хімічну або теплову, що забезпечує локалізований терапевтичний ефект без пошкодження навколишніх тканин.

Важливим аспектом залишається біосумісність і токсикологічна безпека напівпровідникових матеріалів. Сучасні дослідження спрямовані на розробку нових екологічно безпечних сполук, зокрема на основі GaN, SiC або інших гібридних структур, які поєднують високу функціональність із біосумістю.

Таким чином, напівпровідникові монокристали є ключовими матеріалами сучасної медичної техніки, які поєднують високі електронні, оптичні та структурні характеристики з можливістю точного контролю їхніх властивостей на нанорівні. Їх застосування забезпечує створення високочутливих біосенсорів, оптичних діагностичних систем, імплантованих електронних пристроїв і терапевтичних наноплатформ, що відкриває нові горизонти у персоналізованій медицині.

Перспективи розвитку цієї галузі пов'язані з пошуком біосумісних і екологічно безпечних напівпровідникових матеріалів, інтеграцією напівпровідникових структур із біологічними тканинами, а також використанням нанотехнологій і штучного інтелекту для створення «розумних» систем моніторингу стану організму. Подальше вдосконалення методів синтезу, поверхневої обробки та функціоналізації монокристалів сприятиме підвищенню точності, надійності й ефективності медичних приладів нового покоління — від мікросенсорів до комплексних систем неінвазивної діагностики, терапії та біоелектронних імплантатів.

1. Zheng J., Feng C., Qiu S., Xu K., Wang C., Liu X., Lv J., Yu H., & Wu S. Application and prospect of semiconductor biosensors in detection of viral zoonoses. *Journal of Semiconductors*. 2023. 44(2), 023102. https://doi.org/10.1088/1674-4926/44/2/023102

2. Muhammad W., Song J., Kim S., Ahmed F., Cho E., Lee H., & Kim J. Silicon-Based Biosensors: A Critical Review of Silicon's Role in Enhancing Biosensing Performance. *Biosensors*. 2025. 15(2), 119. https://doi.org/10.3390/s24196264

3. Azadmousavi T., et al. Complementary Metal–Oxide–Semiconductor-Based Optical and Magnetic Sensors for Biomedical Applications. *Sensors*. 2024. 24(19), 6264. https://doi.org/10.3390/s24206264

4. Jubair H., Mehenaz M., & Zhang L. Semiconductor-Based Biosensors for Wearable Health Monitoring Devices: Enhancing Efficiency in Personal Healthcare Management. *International Journal of Clinical & Medical Informatics*. 2024. 7(1), 1-5. https://doi.org/10.13140/RG.2.2.22225.95847

ПРОЦЕС І ПРОДУКТИ ВЗАЄМОДІЇ В СИСТЕМІ $P_2O_5 – H_2O$

Ткаченко Андрій Вікторович,
аспірант, aspsrant_nubipu@ukr.net
Національний університет біоресурсів і природокористування України, Україна

Антрапцева Надія Михайлівна,
доктор хімічних наук, професор, aspsrant_nubipu@ukr.net
Національний університет біоресурсів і природокористування України, Україна

Внаслідок аномалій, властивих воді, процес багатьох хімічних реакцій за її участю виявляється складним та маловивченим. Так, наприклад, у роботах, присвячених вивченню гідратації фосфор(V) оксиду, описана оцінка складу конденсованих фосфатних кислот, що утворюються, та його залежність від умов експерименту [1,2]. Однак через експериментальні труднощі, пов'язані з визначенням складу фосфатних кислот, у них наводяться суперечливі дані про послідовність їх утворення. Кінетичні особливості цього процесу практично не вивчені.

Мета даної роботи – дослідити хімічні перетворення, що супроводжують взаємодію в системі $P_4O_{10} – H_2O$, та конкретизувати склад фосфатних кислот, що утворюються.

Для дослідження процесу і продуктів гідратації P_4O_{10} використовували водний розчин H_3PO_4 кваліфікації "х.ч." із вмістом фосфору 63% мас. (у перерахунку на P_2O_5). Кількість P_4O_{10} розраховували таким чином, щоб одержати ряд сумішей різної концентрації. Для оцінки кінетики процесу гідратації через певні проміжки часу з реакційної суміші відбирали проби, нейтралізували їх охолодженим водним розчином аміаку та аналізували.

Вміст фосфору визначали ваговим хінолінмолібдатним методом (похибка 0,2% відн.) після деструкції високомолекулярних кислот до монофосфатної кислоти. Аніонний склад конденсованих фосфатних кислот визначали за допомогою кількісної хроматографії на папері аналогічно описаному в [3]. Для їх ідентифікації додатково записували спектри ЯМР ^{31}P (спектрометр WP – 80 фірми Bruker) за методикою наведеною в [4].

Результати оцінки тривалості процесу гідратації вихідного P_4O_{10} та полімерних фосфатних кислот, що утворюються як проміжні продукти його деструкції у водному розчині монофосфатної кислоти, наведено в табл. 1.

Таблиця 1. Залежність кількості атомів фосфору в кислотах, що утворюються в системі $P_4O_{10} – H_2O$, від тривалості деструкції

Концентрація фосфору (у перерахунку на P_2O_5 заг), %	Тривалість деструкції зв'язків P – O – P, год.							Рівноважний стан $P_4O_{10} – H_2O$
	0,17	1,5	3,0	9,0	20,0	36,0	48,0	
65,0	8	7	6	4	3	1	1	1
70,6	8	7	6	5	4	3	2	2
75,1	9	8	8	7	5	4	3	3
77,0	9	8	7	6	5	4	4	4
78,5	≥9	8	8	7	6	6	5	5
80,5	≥9	≥8	8	8	7	7	6	7
82,7	≥9	≥9	≥9	≥9	9	8	9	9

Згідно з результатами хроматографічних досліджень, у складі поліфосфатних кислот з лінійною будовою аніону, крім низькомолекулярних, присутні високомолекулярні кислоти складу $H_8P_6O_{19}$, $H_9P_7O_{22}$ и $H_{10}P_8O_{25}$, а також нерозділені конденсовані фосфатні кислоти з числом атомів фосфору в ланцюзі понад 9-10 (табл. 1). Підвищення концентрації загального

фосфору призводить до збільшення числа як лінійних полифосфатных кислот, так й циклічних. У складі суміші з концентрацією загального фосфору 82,7% P_2O_5, наприклад, визначаються циклотри- та циклотетрафосфатні кислоти.

Результати дослідження фосфатних кислот методом ЯМР спектроскопії показали, що практично у всіх спектрах спостерігаються три сигнали, що характерні для атомів фосфору монофосфатної кислоти, атомів фосфору серединних груп –P–O–P– ланцюга та атомів фосфору кінцевих груп –P–O–P– поліфосфатного ланцюга. Зі збільшенням концентрації фосфатної кислоти з 72,4% $P_2O_{5\ заг.}$ до 85,0% інтенсивність сигналу атома фосфору, що належить монофосфатної кислоти, зменшується до нуля. Висота сигналу атома фосфору серединних груп збільшується від нуля до максимальної величини. Інтенсивність сигналів атомів фосфору кінцевих груп спочатку зростає, проходить через максимум при 79,4% $P_2O_{5\ заг.}$ та зменшується при подальшому підвищенні концентрації кислоти.

Узагальнюючи експериментальні дані, послідовність основних стадій процесу взаємодії у системі фосфор(V) оксид – вода можна подати так: перша та друга стадії взаємодії P_4O_{10} з H_2O реалізуються послідовно з утворенням спочатку ультрафосфатної кислоти складу $H_2P_4O_{11}$, яка потім перетворюється на циклотетрафосфатну кислоту – $H_4P_4O_{12}$. Початкове кільце фосфору(V) оксиду при цьому не руйнується.

Деструкція циклу відбувається на третій стадії процесу, коли з циклотетрафосфорної кислоти ($H_4P_4O_{12}$) утворюється тетрафосфатна кислота – $H_6P_4O_{13}$ – з лінійною будовою аніону. Подальша поведінка тетрафосфатної кислоти, згідно з експериментальними даними, подвійна. З одного боку, вона піддається подальшим процесам гідратації та деструкції зв'язків –P–O–P–, спрощуючи свій аніонний склад:

$$H_6P_4O_{13} + H_2O = H_5P_3O_{10} + H_3PO_4 \quad (1)$$
$$H_5P_3O_{10} + H_2O = H_4P_2O_7 + H_3PO_4 \quad (2)$$
$$H_4P_2O_7 + H_2O = 2H_3PO_4 \quad (3)$$

З іншого боку, тетрафосфатна кислота приймає участь у реакціях конденсації з утворенням високополімерних лінійних фосфатних кислот, що схематично можна подати так:

$$5H_6P_4O_{13} = 4H_7P_5O_{16} + H_2O \quad (4)$$
$$6H_7P_5O_{16} = 5H_8P_6O_{19} + H_2O \quad (5)$$
$$7H_8P_6O_{19} = 6H_9P_7O_{22} + H_2O \quad (6)$$

Або у загальному вигляді:

$$(n+1)H_{n+2}P_nO_{3n+1} = nH_{n+3}P_{n+1}O_{3n+4} + H_2O \quad (7)$$

Таким чином, утворення високополімерних лінійних фосфатних кислот, які виявлені на основі даних ЯМР та паперової хроматографії у початковий період гідратації вихідного фосфор(V) оксиду, зумовлено процесами поліконденсації тетрафосфатної кислоти.

Утворення циклічних фосфатних кислот відбувається на основі поліфосфатних кислот з лінійною будовою аніону і є, швидше за все, результатом реалізації процесу дегідратації останніх, внаслідок якого відбувається перебудова лінійного аніона на цикличний.

Замикання двох кінцевих груп $–PO_2H_2$ лінійної кислоти призводить до утворення циклічних пента-, гекса- і більш конденсованих кислот:

$$H_5P_3O_{10} = H_3P_3O_9 + H_2O \quad (8)$$
$$H_6P_4O_{13} = H_4P_4O_{12} + H_2O \quad (9)$$
$$H_7P_5O_{16} = H_5P_5O_{15} + H_2O \quad (10)$$
$$H_{n+2}P_nO_{3n+1} = H_nP_nO_{3n} + H_2O \quad (11)$$

Утворення кислот із циклічною будовою аніону на основі лінійних поліфосфатних кислот згідно з рівняннями (8) - (11) визначається складом останніх. Чим довше ланцюг лінійної кислоти, тим менш ймовірна реалізація утворення циклічних кислот внаслідок стеричних труднощів при зближенні кінцевих груп лінійної кислоти.

Таким чином, експериментально підтверджено, що залежно від концентрації фосфору в системі $P_4O_{10} – H_2O$ утворюються конденсовані фосфатні кислоти з різною будовою аніону – лінійною (зі ступенем поліконденсації n = 2-9) та циклічною (з n = 4). Безпосередньою основою для утворення лінійних поліфосфатних кислот є циклотетрафосфатна кислота – проміжний

продукт гідратації фосфор(V) оксиду. Конденсовані фосфатні кислоти із циклічною будовою аніону утворюються внаслідок конденсації відповідних поліфосфатних кислот із лінійною будовою аніону. запропоновано експериментально обґрунтовану повну схему реальної послідовності здійснення основних стадій гідратації фосфор(V) оксиду. Тривалість процесу досягнення рівноважного стану у системі $P_4O_{10} – H_2O$ не перевищує 48 годин.

1. Konstant Z.A., Dindune A.P. Phosphates of divalent metals. Riga : Zinatne, 1997. 371 p.

2. Acton A.Q. Phosphates – advances in research and application. Atlanta, Georgia : Scholarly Editions, 2013. 374 p.

3. Antraptseva N.M., Solod N.V. Solid solutions and double phosphates of bivalent metals. Kyiv : Center of polygraphy KOMPRINT, 2018. 342 p.

4. Kawabe M., Ohashi O., Yamaguchi J. NMR of phosphorus in polyphosphates and determination of their hydrolysis rate constants. *Bull. Chem. Soc. Jap.* 2020. V.43. N12. P.3705-3710.

ОДЕРЖАННЯ НАНОЧАСТИНОК У СИСТЕМІ $LaFeO_3 – LaCoO_3$

Форкош Вікторія Вікторівна,
здобувач вищої освіти ІІ курсу, farkas.viktoria.b20km@kmf.org.ua
Закарпатський угорський університет імені Ференца Ракоці ІІ, Україна
ДВНЗ «Ужгородський національний університет, Україна

Філеп Михайло Йосипович,
кандидат хімічних наук, старший дослідник, filep.mihaly@kmf.org.ua
Закарпатський угорський університет імені Ференца Ракоці ІІ, Україна

Погодін Артем Ігорович,
кандидат хімічних наук, старший дослідник, artem.pogodin@uzhnu.edu.ua
ДВНЗ «Ужгородський національний університет, Україна

Сабов Мар'ян Юрійович,
кандидат хімічних наук, старший дослідник, artem.pogodin@uzhnu.edu.ua
ДВНЗ «Ужгородський національний університет, Україна
Закарпатський угорський університет імені Ференца Ракоці ІІ, Україна

Складні оксиди ABO_3, що відносяться до структурного типу перовськіту відносяться до перспективних функціональних матеріалів завдяки широкому спектру фізичних та технологічних властивостей, таких як сегнетоелектричні, високотемпературна надпровідність, магнітна поведінка та каталітична активність [1]. Ці властивості визначають використання таких матеріалів у багатьох сферах застосування, таких як каталіз, твердоелектролітичні батареї та магнітні датчики [1]. Серед оксидів перовськітного типу $LaFeO_3$ представляє інтерес завдяки своїй низькій ціні, нетоксичності та відносній доступності елементів. Значний інтерес приділяється одержанню високодисперсних порошків з перовськітів.

Метою даної роботи є дослідження утворення наночастинок на основі системи $LaFeO_3$ – $LaCoO_3$. Для синтезу зразків у системі $LaFeO_3$ – $LaCoO_3$ використано золь – гель метод із подальшим відпалом одержаного матеріалу. Вихідними матеріалами були лантан нітрат $La(NO_3)_3 \times 6H_2O$, кобальт (ІІ) нітрат $(Co(NO_3)_2 \times 6H_2O$, лимонна кислота $C_6H_8O_7$ та NH_4OH. Обидва нітрати металів розчиняли окремо у дистильованої води для приготування 0.01 М розчинів. Після повного розчинення розчини зливали разом та при постійному перемішуванні додавали лимонну кислоту у співвідношенні Ме : $C_6H_8O_7$ = 1 : 2. У даному випадку $C_6H_8O_7$ утворює стабільні комплекси з іонами La^{3+} та Co^{2+}. Під час нагрівання (75 °С) до суміші при постійному перемішуванні краплями додавали розчин амоній гідроксиду (25%), доки pH розчину не досягає 8. Це регулювання сприяло стабілізації гелевої сітки та рівномірному розподілу іонів металів по всьому золю. Суміш поступово нагрівали (90 °С) до утворення в'язкої гелеподібної сітки. Після утворення гелю, його висушували при температурі 100 °С. Температури термічної обробки обирали на основі результатів методу ДТА (хромель-алюмелева термопара, нагрів у атмосфері повітря). На кривій нагріву гелю $LaFeO_3$ (рис.1)спостерігаються 2 екзотермічні ефекти з початком при 202 та 492 °С. Перший ефект найімовірніше відповідає початку процесу, що можна описати реакцією: $2La(NO_3)_3 + 2xFe(NO_3)_3 + 2(1-x)Co(NO_3)_2 + 5C_6H_8O_7 \rightarrow 2LaFe_xCo_{1-x}O_3 + 30CO_2 \uparrow + 20H_2O \uparrow + (5+3x)\ N_2\uparrow$.

Таким чином, зразки прожарювали на повітрі при 500 °С, 700 °С та 900 °С протягом приблизно 1 години. Термічна обробка гелю спричиняє самозаймання зразку з утворенням пухкого продукту згідно пропонованої реакції.

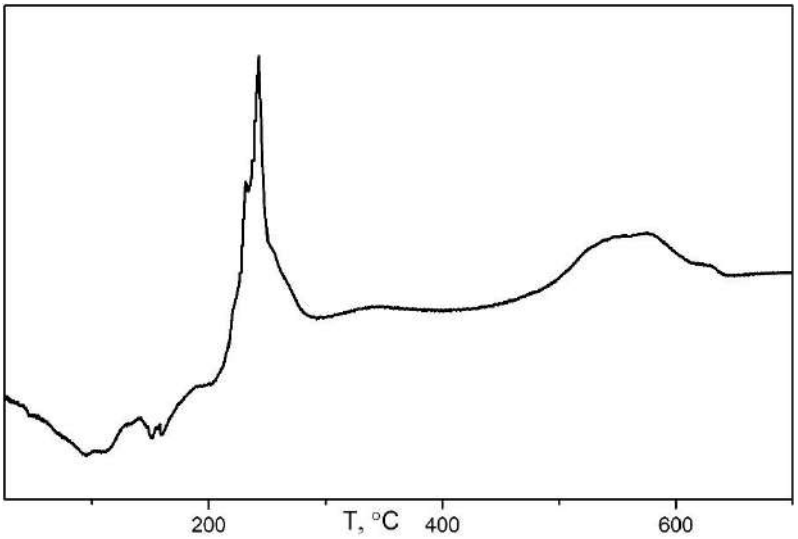


Рис. 1. Крива нагріву висушеного при 100 °С гелю $LaFeO_3$

Після охолодження прожарені порошки були проаналізовані за допомогою методу РФА (дифрактометр Proto AXRD, CuK_α-випромінювання, Ni-фільтр, 0.5 с експозиція). За результатами РФА встановлено, що зразки, які були висушені при 100 °С є кристалічними.

При підвищенні температури відбувається реакція утворення фази $LaFe_xCo_{1-x}O_3$. Дифрактограми зразків, нагрітих до 500 °С та 700 °С, характеризуються низько інтенсивними і широкими рефлексами, що свідчить про нанорозмірність порошків, що представлено на прикладі складу $LaFe_{0.5}Co_{0.5}O_3$ (Рис.2.а). Система рефлексів відповідає орторомбічній структурі перовськіту (ПГ Pbnm) [2]. Нагрівання до 900 °С спричиняє появу ще однієї системи рефлексів, що не була нами проіндексована.

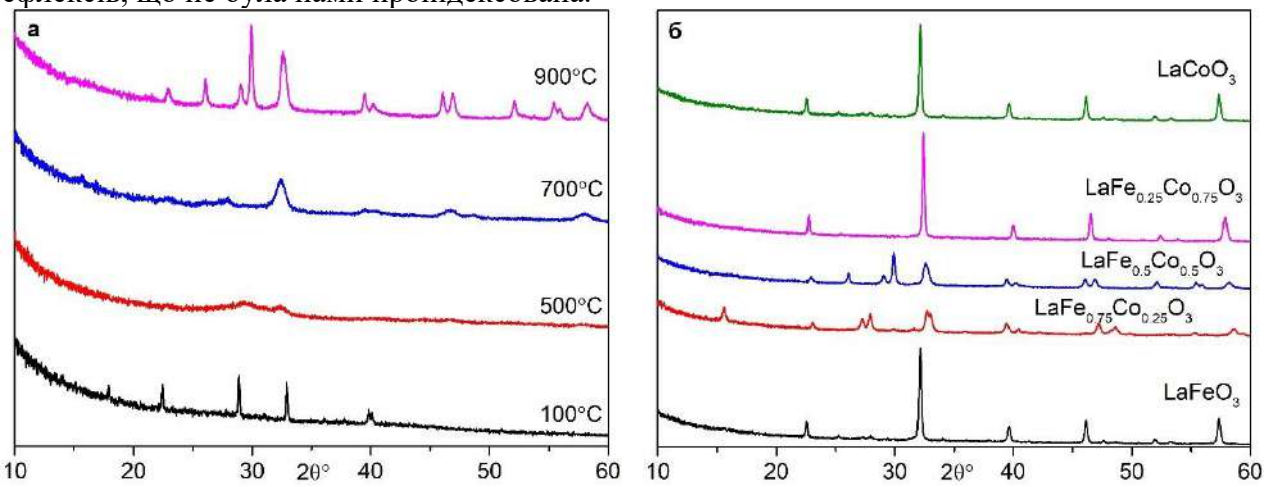


Рис. 2. Дифрактограми складу $LaFe_{0.5}Co_{0.5}O_3$ при різних температурах обробки (а) та дифрактограми складів $LaFe_xCo_{1-x}O_3$ при температурі 900 °С

На рис.2.б. представлено дифрактограми складів $LaFe_xCo_{1-x}O_3$ при температурі 900 °С. Як видно з рис.2.б., при даній температурі обробки зразки $LaFeO_3$, $LaFe_{0.25}Co_{0.75}O_3$ та $LaCoO_3$ характеризуються структурою перовськіту. Для складів $LaFe_{0.5}Co_{0.5}O_3$ та $LaFe_{0.75}Co_{0.25}O_3$ спостерігаються домішкові рефлекси.

1. Tayari F., Teixeira S.S., Graca M.P.F., Nassar K.I. A Comprehensive Review of Recent Advances in Perovskite Materials: Electrical, Dielectric, and Magnetic Properties. *Inorganics.* 2025. V. 13. 67.

2. Bellakki M.B., Kelly B.J., Manivannan V. Synthesis, characterization, and property studies of (La,Ag)FeO_3 (0.0<= x<= 0.3) perovskites. *Journal of Alloys and Compounds*. 2010. V. 489. P. 64–71.

ЗАЛЕЖНІСТЬ ОПТИЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ НАНОЧАСТИНОК ВІД ЇХ РОЗМІРУ ТА ФОРМ

Хімчик Ольга Сергіївна,
здобувач І курсу другого (магістерського) рівня вищої освіти, himchik.olia@gmail.com
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Бідовська Катерина Володимирівна,
здобувач І курсу другого (магістерського) рівня вищої освіти, kbidovska@gmail.com
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Кусяк Наталія Володимирівна,
кандидат хімічних наук, доцент, nkusyak@ukr.net
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Однією із важливих характеристик наноматеріалів є оптичні властивості, які визначаються не лише хімічним складом, а й розміром, формою та діелектричними властивостями середовища, у якому перебувають їх частинки. Зі зменшенням розмірів до кількох нанометрів спостерігаються суттєві зміни енергетичної структури речовини, що проявляються у квантово-розмірних ефектах, зсуві спектрів поглинання та зміні кольору колоїдних систем. Квантово-розмірний ефект полягає у тому, що при зменшенні розміру частинок зростає енергетична різниця між рівнями електронів, тому енергія фотонів, які поглинаються або випромінюються, збільшується. У наночастинках напівпровідників (CdS, ZnO, CuS) це призводить до зсуву максимуму поглинання у короткохвильову область. Наприклад, для наночастинок CuS спостерігається зміщення плазмонного піку з 1700 нм до 900 нм при зменшенні їх діаметра від 100 нм до 20 нм [1].

У металевих наночастинках визначальним чинником є поверхневий плазмонний резонанс (ППР) - колективні коливання електронів провідності, індуковані світлом. Частота цього резонансу залежить від густини електронів, розміру та форми частинок, а також від діелектричної проникності навколишнього середовища [2]. Коли частинки зменшуються, їх ППР-пік зміщується в бік хвиль з меншою довжиною через підвищення розсіювання світла. Загалом, розмір наночастинок безпосередньо впливає на інтенсивність та положення максимуму спектра поглинання. Для золота зменшення діаметра частинок від 50 нм до 10 нм зумовлює зсув максимуму з 520 нм до 480 нм (рис.) [2, 3]. Цей ефект пояснюється збільшенням питомої поверхні, на якій зростає частка атомів, що взаємодіють з електромагнітним полем. Такі зміни дають можливість регулювати колір колоїдів і роблять наночастинки ефективними оптичними сенсорами та маркерами [4]. Для напівпровідникових наночастинок CuS встановлено, що плазмонна частота прямо пропорційна концентрації вільних носіїв заряду і зменшується при збільшенні діелектричної сталої середовища. Це дозволяє керувати оптичним відгуком матеріалу шляхом зміни умов синтезу та розміру частинок [5].

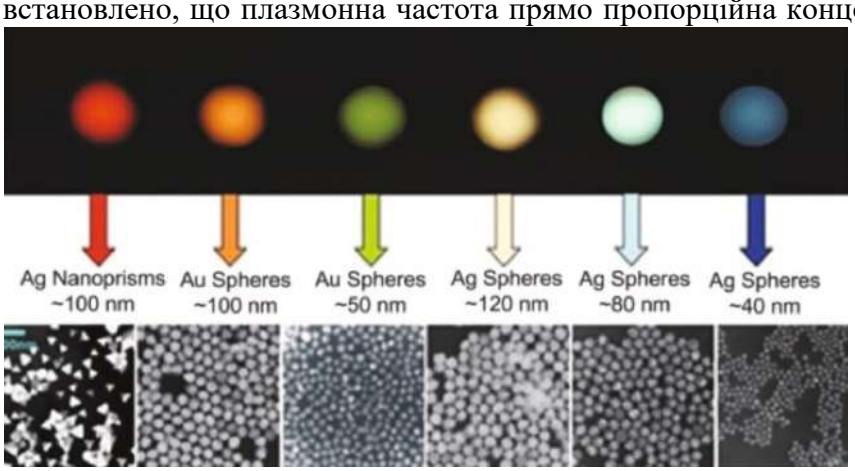


Рис. 1 Зміна оптичних властивостей наночастинок Au та Ag різних розмірів [3].

Форма наночастинок також істотно впливає на оптичні властивості, як і їх розмір. Сферичні частинки мають один ППР-пік, тоді як анізотропні форми (наностржні, нанозірки, нанотрикутники) характеризуються двома або більше піками, які відповідають поздовжньому та поперечному плазмонним резонансам [2]. Для наностржнів золота поздовжній пік може зміщуватися від 650 нм до 900 нм залежно від співвідношення довжини до діаметра. Подібна залежність спостерігається і для несферичних наночастинок моносульфіду Купруму, у яких два плазмонні піки розділені на певну відстань, що зумовлено співвідношенням осей частинки [5]. Варто зазначити, завдяки цим властивостям можна підбирати форму наночастинок для отримання необхідного оптичного відгуку в конкретній ділянці спектра від видимого до інфрачервоного. Це відкриває перспективи для фотоніки, лазерних технологій, сенсорики та біомедицини. Розуміння впливу розміру й форми на оптичні властивості дозволяє створювати наноструктуровані системи з наперед заданими характеристиками. Наночастинки золота та срібла широко застосовують як оптичні мітки для візуалізації клітин, у флуоресцентній мікроскопії, а також як компоненти фототермальних препаратів [4]. Напівпровідникові наночастинки CuS, ZnO та CdS використовуються у фотовольтаїці та фотокаталізі, де контроль плазмонних резонансів дозволяє підвищити ефективність перетворення світлової енергії [5]. По суті, керування геометричними параметрами наночастинок є ключем до створення нових функціональних наноматеріалів з регульованими оптичними властивостями.

Отже, оптичні властивості наночастинок істотно залежать від їхнього розміру та форми. Зі зменшенням розміру частинок відбувається збільшення ширини забороненої зони, що зумовлює зсув максимуму поглинання у короткохвильову область спектра та підсилює інтенсивність розсіювання світла. Форма наночастинок визначає кількість і положення плазмонних піків: сферичні частинки мають один максимум, а анізотропні відповідають різним модам коливань електронів. Такі закономірності дозволяють керувати оптичними характеристиками матеріалів шляхом цілеспрямованої зміни геометрії наночастинок. Результати досліджень мають практичне значення для розроблення наноматеріалів із заданими властивостями, які можуть використовуватися у фотоніці, оптоелектроніці, біомедицині та енергетиці.

1. Чекман І. С., Покровський В. О., Савченко Д. С. Оптичні властивості наноматеріалів. *Вісник НАН України*. 2014. 10. Р. 30–36.

2. Донцова Т. А., Літинська М. І., Феденко Ю. М. Нанохімія і наноматеріали. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського. 2021. 170 с.

3. Neelamraju P. M. et al. Potential applications for photoacoustic imaging using functional nanoparticles: A comprehensive overview. *Heliyon*. 10(15). 34654.

4. Бандас І. А., Криницька І. Я., Куліцька М. І., Корда М. М. Наночастинки: важливість сьогодні, класифікація, використання в медицині, токсичність. *Медична та клінічна хімія*. 2015. 17(3). С. 123–127.

5. Яремчук І., Булавінець Т., Вернигор О., Гніліцький Я., Лесюк Р. Оптичні властивості наночастинок моносульфіду Купруму у близькій інфрачервоній області спектра. *Наносистеми, наноматеріали, нанотехнології*. 2022. 20(2). С. 345–358.

СЕКЦІЯ 2:

Аналітична хімія та хімія довкілля

АТОМНО-АБСОРБЦІЙНЕ ВИЗНАЧЕННЯ Ni(II) ПІСЛЯ МІЦЕЛЯРНО-ЕКСТРАКЦІЙНОГО КОНЦЕНТРУВАННЯ ЙОГО ДИМЕТИЛГЛІОКСИМАТУ

Балан Віолетта Василівна
здобувачка вищої освіти, balanveta@gmail.com
Одеський національний університет імені І.І. Мечникова, Україна

Жуковецька Олена Михайлівна,
доктор філософії, старший науковий співробітник, rentinchibs@gmail.com
Одеський національний університет імені І.І. Мечникова, Україна

Снігур Денис Васильович
кандидат хімічних наук, доцент, 270892denis@gmail.com
Одеський національний університет імені І.І. Мечникова, Україна

Нікель є одним із найважливіших елементів, який знаходить широке застосування в різних галузях промисловості та господарства. В якості забруднювача сполуки Нікелю(II) викликають інтерес через високу токсичність. Надмірна кількість Нікелю(II), Купруму(II) та деяких інших елементів у воді не тільки шкідлива для людей, але і для багатьох водних організмів. Збільшення концентрації Нікелю(II) в навколишньому середовищі відбувається за рахунок промислових та побутових відходів, утилізації стічних вод тощо.

Нікель(II) в природних, біологічних і промислових об’єктах, як правило, існує в слідових кількостях, що вимагає його попереднього концентрування. Серед сучасних методів розділення та концентрування особливої уваги заслуговує міцелярна екстракція, оскільки дозволяє поєднати високу ефективність, простоту виконання та екологічну безпечність та при цьому легко поєднується з основними спектроскопічними методами детектування (спектрофотометрія, атомно-абсорбційна спектроскопія тощо). Здатністю розшаровуватися на дві рідкі фази володіють водні розчини поверхнево-активних речовин (ПАР) усіх типів. У даній роботі буде розглянуто міцелярно-екстракційне концентрування фазами поліоксіетилованих неіоногенних ПАР (НПАР) при температурі помутніння. Типові НПАР на основі оксиду етилену розчиняються у воді внаслідок утворення водневих зв'язків між атомами оксигену поліоксиетильованого ланцюга і молекулами води. При цьому атоми гідрогену води взаємодіють з вільною парою електронів ефірного атома оксигену. Водні розчини оксиетильованих НПАР при нагріванні до деякої критичної температури зазнають оборотний фазовий перехід, який визначається за помутнінням розчину.

Метою даної роботи є оптимізація умов міцелярно-екстракційного вилучення Нікелю(II) у хімічно-індуковану фазу НПАР Тритону Х-100 формі диметилгліоксимату та його подальше атомно-абсорбційне визначення.

В даній роботі досліджено процес міцелярно-екстракційного концентрування Нікелю(II) в хімічно-індуковану міцелярну фазу нейоногенної ПАР Тритону Х-100. Показано, що введення N,N-дифенілгуанідину гідрохлориду суттєво знижує температуру помутніння та ініціює утворення міцелярної фази вже за кімнатної температури. Розшарування фаз відбувається при центрифугування при 2000 об. хв впродовж 7-10 хв. Встановлено оптимальні умови утворення міцелярної фази та вилучення комплексу Нікелю(II) з диметилгліоксимом: 2 об.% тритону Х-100, 0,033 моль/л N,N-дифенілгуанідину гідрохлориду та гідроксид натрію до pH 10.5-11.5. Показано, що найбільш доцільно розчиняти міцелярну фазу в 1 мл розчину хлоридної кислоти (1:2). Обчислені основні аналітичні характеристики методики: градуювальний графік лінійний в інтервалі концентрацій 0,04-0,96 мкг/мл, межі виявлення та визначення відповідно складають 0,012 та 0,04 мкг/мл.

ПРИРОДНІ МІНЕРАЛИ ЯК ЕФЕКТИВНІ СОРБЕНТИ ДЛЯ ВИЛУЧЕННЯ ІОНІВ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ ІЗ ВОДНИХ РОЗЧИНІВ

Басюк Владислав Олександрович,
здобувач вищої освіти VI курсу, bosikbasuk9@gmail.com
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Кичкирук Ольга Юріївна,
кандидат хімічних наук, доцент, chem@ukr.net
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Анічкіна Олена Василівна,
завідувач кафедри хімії, кандидат педагогічних наук, доцент кафедри хімії, chem@ukr.net
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Забруднення водних систем іонами важких металів залишається однією з ключових екологічних проблем. Іони плюмбуму (Pb^{2+}), нікелю (Ni^{2+}) та кобальту (Co^{2+}) характеризуються високою токсичністю, біоакумуляцією та стійкістю до природних процесів розкладання, що вимагає розроблення ефективних методів їх вилучення з водних розчинів. Перспективним напрямом є використання природних мінералів як сорбентів, зокрема шунгіту та кліноптилоліту, які відзначаються доступністю, хімічною інертністю та розвиненою поверхнею.[1-4]

У ході експерименту було проведено порівняльне дослідження сорбційних властивостей цих мінералів щодо іонів Pb^{2+}, Ni^{2+} та Co^{2+}. Результати показали, що шунгіт проявляє відносно низьку сорбційну активність: максимальний ступінь вилучення іонів плюмбуму становив близько 32%, тоді як для нікелю та кобальту цей показник не перевищував 1–2%. Це свідчить про обмежену здатність шунгіту до йонного обміну та переважання фізичної адсорбції на поверхні. Разом з тим, шунгіт може бути використаний для попереднього очищення або грубої фільтрації води від сполук свинцю.

Кліноптилоліт продемонстрував значно вищу сорбційну здатність. Для іонів плюмбуму (Pb^{2+}) відсоток сорбції досягав 94%, що свідчить про сильну хімічну взаємодію та високу селективність до цього металу. Для іонів нікелю (Ni^{2+}) ефективність становила до 91%, а для іонів кобальту (Co^{2+}) — до 81% у розчинах невисоких концентрацій. Таким чином, кліноптилоліт найефективніше сорбує іони плюмбуму, дещо менше — нікелю, і найменше — кобальту, проте навіть при цьому рівень сорбції перевищує показники шунгіту в декілька разів.

Отже, за результатами дослідження встановлено, що **кліноптилоліт** є значно ефективнішим сорбентом для вилучення іонів Pb^{2+}, Ni^{2+} і Co^{2+} із водних розчинів, особливо для сполук свинцю, тоді як **шунгіт** може розглядатися як допоміжний або комбінований матеріал у багатоступеневих системах очищення води. Отримані дані підтверджують доцільність використання кліноптилоліту в технологіях екологічно безпечного водоочищення.

1. Бойко В. І., та ін. Екологічна хімія водного середовища. Київ: Наукова думка, 2020. 312 с.

2. Чайковський І. І. Сорбційні властивості природних мінералів у системах очищення води від іонів важких металів. Львів: Видавництво ЛНУ, 2019. 185 с.

3. Михайленко О. П. Цеоліти та їх застосування у водоочищенні. Харків: ХНУ ім. В. Н. Каразіна, 2021. 204 с.

4. ГОСТ/ДСТУ 8302:2015. Бібліографічне посилання. Загальні положення та правила складання. Київ: Мінекономрозвитку України, 2016. 16 с.

ВОЛЬТАМПЕРОМЕТРИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ПАПАВЕРИНУ ЗА ДОПОМОГОЮ ПЛАНАРНОЇ КОМІРКИ З РОБОЧИМ АЛМАЗНИМ ЕЛЕКТРОДОМ

Боднар Юлія Павлівна,
здобувач вищої освіти І курсу магістратури, yuliia.bodnar.khmkh@lnu.edu.ua
Львівський національний університет імені Івана Франка, Україна

Макров Андрій Володимирович,
здобувач вищої освіти IV курсу, andrii.makrov@lnu.edu.ua
Львівський національний університет імені Івана Франка, Україна

Голець Софія Ярославівна,
здобувач вищої освіти ІІІ курсу, SOFIIA.HOLETS@lnu.edu.ua
Львівський національний університет імені Івана Франка, Україна

Дубенська Лілія Осипівна,
кандидат хімічних наук, доцент, liliya.dubenska@lnu.edu.ua
Львівський національний університет імені Івана Франка, Україна

Папаверин належить до ізохінолінових алкалоїдів і володіє вираженою біологічною активністю. Головна його дія полягає у розслабленні гладкої мускулатури внутрішніх органів, що зумовлює спазмолітичний ефект [1,2]. Завдяки цьому папаверин широко застосовують у фармакології для зменшення спазмів при захворюваннях шлунково-кишкового тракту, жовчевивідної та сечовивідної систем, а також у складі комбінованих лікарських засобів [3].

З огляду на широке використання папаверину у медичній практиці виникає потреба у розробленні точних, швидких та економічно доступних методів його визначення у лікарських формах різного виду та біологічних зразках. Традиційні методи аналізу, зокрема хроматографічні та спектрофотометричні, забезпечують високу точність, проте потребують складної пробопідготовки, застосування органічних розчинників та використання дорогого обладнання [4,5]. Тому актуальним є пошук альтернативних методів, які поєднують простоту, швидкість та чутливість визначення. Одним із перспективних напрямів є використання електрохімічних методів, зокрема вольтамперометрії, яка дозволяє проводити аналіз без складних процедур пробопідготовки та забезпечує високу селективність [6,7].

Метою цього дослідження було вивчення вольтамперометричної поведінки папаверину із застосуванням планарної комірки з робочим алмазним електродом. Алмазні електроди відомі своєю хімічною інертністю, широким діапазоном робочих потенціалів, низьким фоновим струмом та високою стабільністю сигналів, що робить їх придатними для визначення речовин, здатних до окисно-відновних реакцій [8].

У ході роботи було встановлено, що папаверин окиснюється на поверхні алмазного електрода допованого бором в широкому діапазоні pH з утворенням двох піків (E_1 = 0,91 В, E_2 = 1,16 В) на вольтамперограмах, а також відновлюється з утворенням одного піку (E_3 = -1,74 В). Для забезпечення найкращої відтворюваності сигналів та чіткого розділення піків оптимальним було обрано pH = 7,0. У процесі оптимізації умов вимірювання дослідили вплив фонового електроліту (універсальної буферної суміші, калій хлориду та калій перхлорату), серед яких найкращі результати отримано з використанням універсальної буферної суміші.

Оскільки у нейтральному середовищі спостерігаються процеси як окиснення, так і відновлення папаверину, було досліджено чи пов’язані ці процеси між собою. Для цього отримали серію вольтамперограм зі зміною напряму напруги сканування. Результати

показали, що форма та потенціали піків не залежать від напряму накладання потенціалу, що свідчить про незалежність процесів окиснення та відновлення. Це підтверджує складність електрохімічної поведінки папаверину та дозволяє краще зрозуміти механізм його перетворень на поверхні електрода.

Додатково дослідили вплив сторонніх речовин, які можуть міститися у реальних зразках або лікарських засобах, таких як аскорбінова кислота, сечова кислота, дофамін, кофеїн та нікотин. Встановили, що запропонована методика забезпечує достатню селективність навіть за присутності цих речовин.

Застосовуючи методи диференційної імпульсної та квадратно-хвильової вольтамперометрії, отримали лінійні залежності сили струму від концентрації папаверину у межах 1 – 20 мкМ, що дозволило побудувати градуювальні графіки та розрахувати аналітичні параметри для цих графіків. Практичне значення розробленої методики перевірили на модельній суміші лікарських засобів, до складу якої входили анальгін, дибазол і папаверин у співвідношенні (13,34 : 1,57 : 1), що відповідає складу комбінованих таблеток «АнДиПа» («Анальгін-Дибазол-Папаверин», ТДВ «ІнтерХім»). Незважаючи на часткове накладання деяких електрохімічних сигналів, піки папаверину були чітко ідентифіковані, що підтверджує чутливість, ефективність та селективність методики.

Отримані результати свідчать про перспективність використання планарної комірки з алмазним електродом як ефективного інструменту для вольтамперометричного визначення папаверину у фармацевтичних препаратах, аналітичному контролі якості лікарських засобів та в біомедичних дослідженнях. Такий підхід дає змогу у майбутньому автоматизувати процес та може стати основою для створення сенсорних систем для швидкого контролю вмісту папаверину в різних типах зразків.

1. Ashrafi S., Alam S., Sultana A., et.al.. Papaverine: a miraculous alkaloid from opium and its multimedicinal application. *Molecules*. 2023. Vol. 28. Article ID: 3149. DOI: 10.3390/molecules28073149.

2. Kukula-Koch W. A., Widelski J. Alkaloids. *Pharmacognosy*. 2017. P. 163–198. DOI: 10.1016/b978-0-12-802104-0.00009-3.

3. Dushna O., Dubenska, L., Bulska E. Voltammetric Determination of Alkaloids and Metabolites: From Structural Classification to Bioanalytical Applications and Regulatory Insights. *Critical Reviews in Analytical Chemistry*. 2025. P. 1–31. DOI:10.1080/10408347.2025.2573851.

4. El-Gindy A. HPLC and chemometric assisted spectrophotometric methods for simultaneous determination of diprophylline, phenobarbitone and papaverine hydrochloride. *Farmaco*. 2005. Vol. 60(9). P. 745–753. DOI: 10.1016/j.farmac.2005.06.002.

5. Paul B.D., Dreka C., Knight E.S. et al. Gas chromatographic/mass spectrometric detection of narcotine, papaverine, and thebaine in seeds of Papaver somniferum. *Planta Medica.* 1996. Vol. 62(6). P. 544–547. DOI: 10.1055/s-2006- 957966.

6. Dushna O., Dubenska, L., Panas K. et al. Sensitive and Eco-Friendly Voltammetric Detection of Galantamine Using a Screen-Printed Sensor with a Functional Boron-Doped Diamond Electrode. *Talanta*. 2024. 127260. DOI: 10.1016/j.talanta.2024.127260.

7. Câmpean A., Tertiş M., Săndulescu R. Voltammetric determination of some alkaloids and other compounds in pharmaceuticals and urine using an electrochemically activated glassy carbon electrode. *Open Chemistry*. 2011. Vol. 9(4). P. 688–700. DOI: 10.2478/s11532-011-0058-y.

8. Dushna O., Dubenska, L., Vojs M., et al.. Highly Sensitive Determination of Atropine in Pharmaceuticals, Biological Fluids and Beverage on Planar Electrochemical Cell with Working Boron-Doped Diamond Electrode. *Electrochimica Acta*. 2022. 141182. DOI: 10.1016/j.electacta.2022.141182.

ВИЗНАЧЕННЯ pH ВОДОЙМ ПОТЕНЦІОМЕТРИЧНИМ МЕТОДОМ

Данилюк Софія Миколаївна,
здобувач першого (бакалаврського) рівня вищої освіти IV курсу chem@ukr.net
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Камінський Олександр Миколайович,
кандидат хімічних наук, доцент, alexkamin@ukr.net
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Віленський Володимир Олексійович,
доктор хімічних наук, професор, chem@ukr.net
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Чайка Микола Володимирович,
кандидат хімічних наук, доцент, chem@ukr.net
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Кучерук Сніжана Василівна,
доктор філософії з галузі знань Хімічна та біоінженерія, доцент кафедри хімії,
snezhunka1107@gmail.com
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Ходюк Олександр Васильович,
асистент кафедри хімії chem@ukr.net
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Показник pH є одним із базових параметрів, що характеризують кислотно-лужний стан природних вод. Він відображає концентрацію іонів водню (H^+) у водному середовищі та визначає реакцію води – кислу, нейтральну або лужну. Значення pH впливає на хімічні, біологічні та фізичні процеси у водоймах, зокрема на розчинність мінеральних речовин, токсичність металів, активність мікроорганізмів і загальний стан водних екосистем.

У природних умовах реакція води формується під впливом складу порід, через які вона фільтрується, атмосферних опадів, біохімічних процесів та антропогенних факторів. Найчастіше pH природних вод коливається в межах від 6,0 до 8,5, що відповідає слабокислому або нейтральному середовищу. Для річкових і озерних вод типовими є значення 6,5-8,0, тоді як для підземних вод величина становить 6,5-8,5, залежно від мінералізації та вмісту вуглекислоти.

Відхилення показника pH від природного діапазону може свідчити про забруднення водойми кислотними або лужними стоками, процеси евтрофікації, інтенсивну діяльність мікроорганізмів або промисловий вплив. Зниження pH нижче 6,0 призводить до підвищення розчинності токсичних іонів металів, таких як: Fe^{2+}, Fe^{3+}, Cu^{2+}, Mn^{2+}, Al^{3+} та інші, що негативно впливає на водні екосистеми та придатність води до питного використання.

Відповідно до нормативів України [1] та ЄС [2] pH води повинен знаходитись у межах 6,5-8,5.

Метою даної роботи є: вимірювання pH природних водойм методом потенціометрії та порівняння одержаних показників з нормативними документами України та ЄС.

pH-метричні дослідження виконували за допомогою портативного потенціометра (pH-метра) виробництва Milwaukee EC/pH/Temp WP.

У склянку на 50 мл наливали 20-30 мл досліджуваного розчину або природної води, занурювали pH-тестер та вимірювали значення показника іонів Гідрогену.

У роботі використано такі зразки води: дистильована вода, вода з-під крану (вул.

Університетська, 42) та вода, взята зі зливу під час дощу (внутрішній дворик природничого факультету).

На рис. 1 показано діаграму величини pH залежно від джерела води.

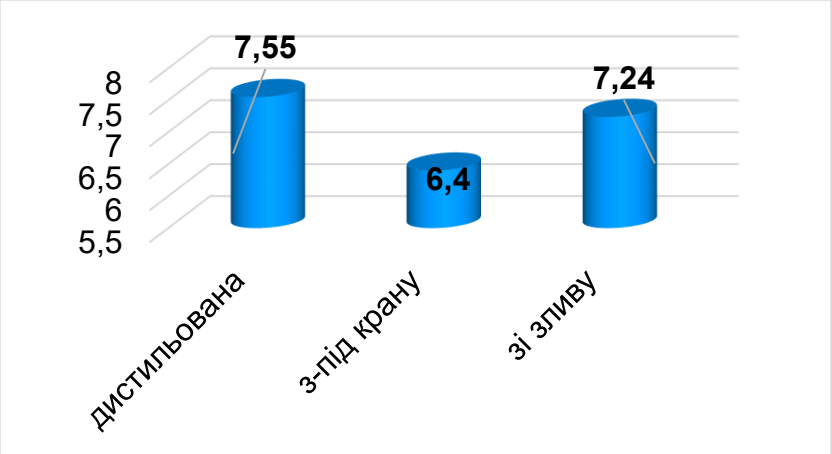


Рис. 1 Діаграма величини pH залежно від джерела води

Встановлено, що всі зразки води відповідають Нормативам України та ЄС за величиною pH середовища.

1. ДСанПіН 2.2.4-171-10 Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною [Назва з екрану]. Режим доступу до ресурсу: https://docs.dbn.co.ua/3344_1583178493928.html?utm_source=chatgpt.com (дата звернення: 04.11.2025)

2. Directive (EU) 2020/2184 of the European Parliament and of the Council of 16 December 2020 on the quality of water intended for human consumption. Режим доступу до ресурсу: https://www.legislation.gov.uk/eudr/2020/2184

ПРОДУКТИ ВЗАЄМОДІЇ ХРОМУ(VI) З ДЕЯКИМИ ПОХІДНИМИ СОЛЕЙ 6,7-ДИГІДРОКСИБЕНЗОПІРИЛІЮ ТА ЇХ ЗАСТОСУВАННЯ В МІЦЕЛЯРНІЙ ЕКСТРАКЦІЇ

Демчук Ангеліна Валеріївна,
аспірантка IV року навчання, uzymbar@gmail.com
Одеський національний університет імені І.І. Мечникова, Україна

Снігур Денис Васильович,
кандидат хімічних наук, доцент, 270892denis@gmail.com
Одеський національний університет імені І.І. Мечникова, Україна

Хром є поширеним елементом, концентрація якого в земній корі становить ~$8{,}3\cdot10^{-3}$%, а сполуки хрому(VI) класифікуються як потенційно канцерогенні. Основними джерелами забруднення водних об'єктів сполуками хрому є стічні води підприємств, а також шкіряних і хімічних заводів. В аналітичній хімії для визначення хрому застосовують методи атомної та молекулярної спектроскопії, зокрема із попереднім концентруванням аналіту. Однак сучасні підходи до розділення, концентрування та використання високочутливих реагентів, таких як похідні 7,8- і 6,7-дигідроксибензопірилію (ДОХ), досліджені недостатньо.

В даній роботі, оптимізовані умови взаємодії Cr(VI) з ДОХ, а саме pH, час реакції, температура та вплив ультразвукового опромінення. Стехіометричні співвідношення визначали класичними спектрофотометричними методами, а молярні коефіцієнти світлопоглинання – методом Комаря. Виявлено, що тип аніону, який входить до складу реагенту, суттєво не впливає на спектрофотометричні характеристики продуктів реакції у досліджених системах. У табл. 1 наведено узагальнені основні хіміко-аналітичні характеристики сполук, що утворюються при взаємодії Cr(VI) з ДОХ.

Таблиця 1. Умови утворення і характеристики нових аналітичних форм для визначення Cr(VI)

Реагент	**Cr:R**	**$pH_{опт}$**	**$\lambda_{макс}$, нм**	**$\varepsilon\cdot10^{-4}$**
ДМДОХ (R_1=R_2=CH_3)	1:2 (2:4)*	1.8	435	1.0
МФДОХ (R_1= C_6H_5; R_2=CH_3)	1:2 (2:4)*	2.0	455	1.5
ДФДОХ (R_1=R_2=C_6H_5)	1:1 (2:2)*	2.2	460	1.7

* наведено склад димера за методом Старика-Барбанеля

Як видно за табл. 1, введення фенільних замісників у положення 2 і 4 бензопірилієвого фрагмента спричиняє зсув оптимального pH взаємодії, підвищує контрастність реакцій та збільшує молярні коефіцієнти поглинання. Важливим фактором є також розмір замісників у 2 та 4 положеннях бензопірилієвого циклу. Так, комплекс із ДМДОХ має схильність до легкої димеризації з утворенням сполуки складу 2:4; у випадку з МФДОХ цей процес проходить повільніше, тоді як для ДФДОХ формується сполука складу 1:1, що зумовлено стеричними перешкодами. Сполуки є електронейтральними, що підтверджується їх здатністю до екстракції хлороформом. Найбільш придатними аналітичними формами виявилися продукти взаємодії Cr(VI) з МФДОХ та ДФДОХ. З огляду на простоту синтезу МФДОХ, саме цей реагент обрано для подальшого дослідження його придатності в міцелярній екстракції. Оскільки реакція Cr(VI) з похідними ДОХ відбувається при нагріванні, у даній роботі використано традиційний метод термічного ініціювання міцелярної екстракції, що не потребує введення додаткових реагентів-ініціаторів. Оптимальними умовами визначено введення до системи 1 об.% Тритону X-100 та $5\cdot10^{-4}$ моль/дм^3 реагенту МФДОХ. Для покращення утворення міцелярної фази застосовували висолювання, додаючи натрій сульфат до концентрації 0.2 моль/дм^3. В оптимальних умовах побудовано калібрувальну залежність для спектрофотометричного визначення Cr(VI) після його міцелярно-екстракційного концентрування з МФДОХ, яка є лінійною (R^2 = 0.9995) в діапазоні концентрацій 0.05–1.7 мг/дм^3, а межі виявлення та визначення відповідно становлять 0.015 мг/дм^3 та 0.05 мг/дм^3.

ДОСЛІДЖЕННЯ ЗМІНИ ВМІСТУ ЦУКРІВ У ПРОЦЕСІ ФОТОДЕСТРУКЦІЇ ГАЗОВАНИХ НАПОЇВ МЕТОДОМ РЕФРАКТОМЕТРІЇ

Гайдарли Ксенія Дмитрівна,
здобувач першого (бакалаврського) рівня вищої освіти ІІІ курсу chem@ukr.net
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Камінський Олександр Миколайович,
кандидат хімічних наук, доцент, alexkamin@ukr.net
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Кичкирук Ольга Юріївна,
кандидат хімічних наук, доцент, chem@ukr.net
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Денисюк Роман Олександрович,
кандидат хімічних наук, доцент, chem@ukr.net
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Чайка Микола Володимирович,
кандидат хімічних наук, доцент, chem@ukr.net
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Євдоченко Олена Сергіївна,
доктор філософії з галузі знань 01 Освіта/Педагогіка, доцент кафедри хімії, chem@ukr.net
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

У роботі використано зразки газованих напоїв, що містять цукровий колер торговельних марок: «Живчик із соком яблука», «Моршинська Лимонада зі смаком яблука» та «Караван Делішес».

З метою встановлення початкового вмісту цукрів у зразках напоїв виконано рефрактометричні дослідження на лабораторному рефрактометрі Аббе з випромінюванням лампи видимого жовто-помаранчевого світла (589,3 нм).

На рис. 1 показано зовнішній вигляд рефрактометра Аббе.

Рис. 1. Зовнішній вигляд рефрактометра Аббе

Для визначення впливу УФ-випромінювання на кількість цукрів у напоях 30 мл напою опромінювали без каталізатора протягом 5 хв, потім відбирали декілька краплин розчину та вимірювали показник заломлення та вміст (у %) цукру за допомогою рефрактометра Аббе,

далі опромінювали 10 хв і проводили виміри, а потім 15 хв, провівши виміри показника заломлення. Декілька краплин досліджуваного напою поміщали за допомогою піпетки на нижню призму та вимірювали показник заломлення за температури 18 ºС. Кожного разу, змінюючи напій, обидві призми промивали декілька разів дистильованою водою та витирали насухо фільтрувальним папером [1].

На рис. 2 показано діаграму приросту вмісту цукрів (у %) від марки газованого напою. Результати подані для 15 хв опроміненння.

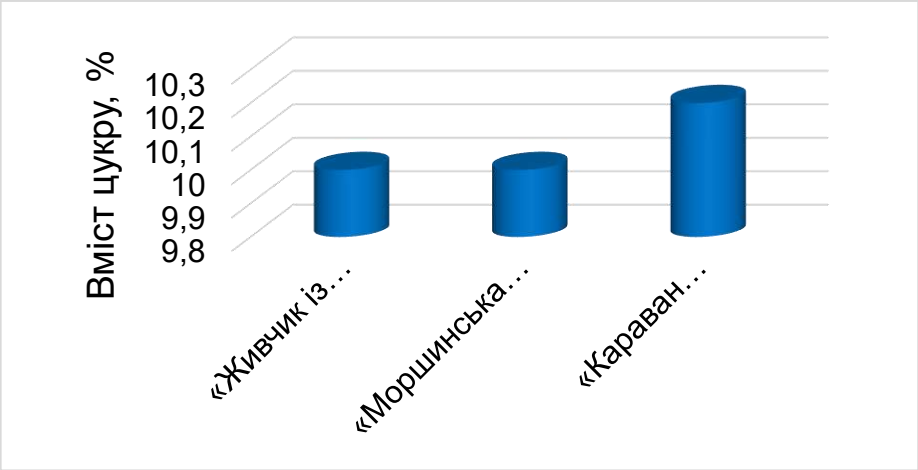


Рис. 2. Діаграма приросту вмісту цукрів (у %) від марки газованого напою

На основі одержаних результатів можна зробити висновок, що під час опромінення УФ-світлом зразків напоїв у їх складі не лінійно зростає вміст цукристих речовин з підвищенням часу опромінення.

1. Камінський О. М., Чайка М. В., Денисюк Р. О., Чумак В. В., Панасюк Д. Ю. Інструктивно-методичні матеріали до лабораторних занять із обов'язкової освітньої компоненти «Фізична хімія»: навчально-методичний посібник для підготовки здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти. Житомир: Вид-во ЖДУ ім. І. Франка, 2024. 115 с. http://eprints.zu.edu.ua/id/eprint/40605

ВПЛИВ РОСЛИННОГО ОПАДУ НА СКЛАД ТА ВЛАСТИВОСТІ ҐРУНТІВ

Гончаренко Любов Іванівна,
здобувач вищої освіти IV курсу, lubagoncarenko@gmail.com
Сумський державний університет, Україна

Диченко Тетяна Василівна,
кандидат педагогічних наук, доцент, старший викладач, t.dychenko@chem.sumdu.edu.ua
Сумський державний університет, Україна

Рослинний опад є одним із ключових факторів формування ґрунтового профілю та регуляції його фізико-хімічних і біологічних властивостей. У процесі розкладу опад постачає органічні речовини, мінеральні елементи та енергетичний ресурс для ґрунтових мікроорганізмів, забезпечуючи сталість ґрунтових екосистем [1].

Хімічний склад опаду визначає характер його впливу на ґрунт. Листяні породи зазвичай містять більше легкорозкладних органічних сполук, що пришвидшує мінералізацію та сприяє накопиченню гумусу. Хвойний опад навпаки багатий на лігнін та смолисті речовини, тому розкладається повільніше, спричиняє підкислення ґрунту та формування кислих гумусових сполук [2].

Органічні рештки, що потрапляють у ґрунт, поступово перетворюються на гумус, який покращує структуру ґрунтових агрегатів, підвищує водоутримувальну здатність і забезпечує акумуляцію поживних елементів. Важливою умовою цих процесів є співвідношення вуглецю та азоту, достатня вологість і активність мікробіоти. Опад стає основним джерелом енергії для мікроорганізмів, грибів та ґрунтових безхребетних, стимулює біохімічні процеси, що відповідають за самоочищення та родючість ґрунту.

З рослинним опадом у ґрунт повертаються азот, фосфор, калій, кальцій, магній та мікроелементи, які згодом засвоюються рослинами. Таким чином підтримується природний баланс елементів живлення та відновлюється родючість ґрунту без додаткового антропогенного втручання [1].

Тип рослинності значною мірою визначає напрям змін ґрунтових властивостей. Опад листяних порід, як правило, сприяє нейтралізації кислотності та покращує структуру ґрунту, тоді як опад хвойних насаджень часто формує кислі, менш родючі ґрунти.

Важливою складовою впливу рослинного опаду на ґрунт є його роль у формуванні та підтриманні ґрунтової мікробіоти. Саме різноманіття мікроорганізмів визначає швидкість розкладу органічних речовин і подальше утворення гумусових сполук. Різні види грибів, бактерій та актиноміцетів розщеплюють органічні сполуки до простіших форм, доступних для живлення рослин. Наявність достатньої кількості опаду сприяє збільшенню чисельності сапротрофних мікроорганізмів, що прискорює кругообіг елементів та покращує екологічний стан ґрунту. Крім того, розклад листя створює мульчуючий шар на поверхні ґрунту, який зменшує втрату вологи, запобігає ерозії та перегріванню ґрунтового покриву [2].

Рослинний опад є необхідною складовою сталого функціонування ґрунтових екосистем. Він регулює фізико-хімічні процеси, забезпечує родючість, формує гумус і підтримує біологічну активність ґрунту. Дослідження впливу різних типів опаду є важливими для раціонального використання та відновлення ґрунтів, особливо в умовах кліматичних змін та деградації земель.

1. Неля Русіна. Основи ґрунтознавства і геології. Електронний посібник. [Електронний документ]. Режим доступу : https://vukladach.pp.ua/MyWeb/manual/geodezija/FUNDAMENTALS_OF_SOIL_SCIENCE_AND_GEOLOGY/Ykladahi/Ykladahi.htm

2. Бедернічек Т. Швидкість деструкції рослинного опаду: проблеми порівняння та узагальнення результатів досліджень. *Наукові записки Державного природознавчого музею*. 2016. № 32. С. 25-30.

ВИЗНАЧЕННЯ МУТНОСТІ ПРИРОДНИХ ВОД МЕТОДОМ ТУРБИДИМЕТРІЇ

Гусаченко Дарина Анатоліївна,
здобувач першого (бакалаврського) рівня вищої освіти IV курсу chem@ukr.net
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Камінський Олександр Миколайович,
кандидат хімічних наук, доцент, alexkamin@ukr.net
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Тітов Юрій Олександрович,
доктор хімічних наук, професор, chem@ukr.net
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Денисюк Роман Олександрович,
кандидат хімічних наук, доцент, chem@ukr.net
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Кучерук Сніжана Василівна,
доктор філософії з галузі знань Хімічна та біоінженерія, доцент кафедри хімії,
snezhunka1107@gmail.com
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Ходюк Олександр Васильович,
асистент кафедри хімії chem@ukr.net
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Мутність є одним із найважливіших показників якості природних вод, що характеризує їх оптичні властивості та вміст завислих частинок. Вона зумовлена наявністю у воді мінеральних і органічних домішок, колоїдних речовин, мікроорганізмів, а також продуктів ерозії ґрунту. Джерелами надходження цих частинок у природні водойми є поверхневий стік, атмосферні опади, промислові та побутові скиди, а також процеси біологічного та хімічного походження, що відбуваються безпосередньо у водному середовищі.

Мутність знижує прозорість води, ускладнює фотосинтетичну активність водоростей і знижує глибину проникнення світла, що може негативно впливати на гідробіоценози. Висока мутність також є небажаною у водопідготовці, оскільки сприяє адсорбції шкідливих мікроорганізмів і токсичних речовин, ускладнює процеси фільтрації та знезараження води.

Згідно з чинними нормативними документами, допустимі значення мутності залежать від призначення води. Так, за Державними санітарними нормами та правилами України [1] для питної води з централізованих систем водопостачання мутність не повинна перевищувати 1,5 NTU після очищення. У деяких випадках, наприклад для артезіанських джерел, допускається значення до 2 NTU, якщо вода не має інших ознак забруднення. Для поверхневих вод, які використовуються як джерело господарсько-питного водопостачання, гранично допустима мутність становить до 5 NTU, залежно від категорії водойми. Подібні стандарти також зазначені у Директиві ЄС [2].

Метою даної роботи є: дослідження мутності природних водойм методом турбидиметрії та порівняння одержаних показників з нормативними документами України та ЄС.

Для вимірювання мутності природних вод використовували портативний турбидиметр TN500 TURBIDITY виробництва APERA INSTRUMENTS CO, LTD з лампою-випромінювачем (400-600 нм). У якості калібрувальних розчинів використовували стандартні розчини формазоліну з величиною мутності 0, 20, 100, 400 та 800 NTU (мг/л). Об’єм

калібрувального та досліджуваного розчину, які поміщали у круглу скляну кювету становив 18 мл.

Зразки досліджуваної води, об’ємом 18 мл кожна (відміряли мірною піпеткою) поміщали у круглу кювету та вимірювали величину мутності.

У роботі використано такі зразки води: вода з-під крану (вул. Університетська, 42), вода з калюжі (внутрішній дворик природничого факультету) та вода, взята зі зливу під час дощу (внутрішній дворик природничого факультету).

На рис. 1 показано діаграму величини мутності залежно від джерела води.

Рис. 1 Діаграма величини мутності залежно від джерела води

Встановлено, що всі зразки води перевищують норму у показника мутності приблизно у 10 разів.

1. ДСанПіН 2.2.4-171-10 Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною [Назва з екрану]. Режим доступу до ресурсу: https://docs.dbn.co.ua/3344_1583178493928.html?utm_source=chatgpt.com (дата звернення: 04.11.2025)

2. Directive (EU) 2020/2184 of the European Parliament and of the Council of 16 December 2020 on the quality of water intended for human consumption. Режим доступу до ресурсу: https://www.legislation.gov.uk/eudr/2020/2184

ОСНОВИ МОЛЕКУЛЯРНОЇ СПЕКТРОСКОПІЇ. СУЧАСНИЙ СТАН

Ганський Владислав Віталійович,
здобувач другого (магістерського) рівня вищої освіти ІІ курсу hanskyivl@gmail.com
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Кичкирук Ольга Юріївна,
кандидат хімічних наук, доцент кафедри хімії panova_o_yu@ukr.net
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Анічкіна Олена Василівна,
кандидат педагогічних наук, завідувач кафедри хімії, eva_kvitka@meta.ua
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Молекулярна спектроскопія є сукупністю найпотужніших інструментів сучасної хімії, фізики та біології, що дозволяють досліджувати будову речовини на атомно-молекулярному рівні. Ефективність її застосування безпосередньо залежить від розуміння фахівцем фундаментальних фізичних принципів, що лежать в її основі.

Актуальність теми зумовлена двома чинниками. По-перше, необхідністю глибокого засвоєння квантово-механічних аспектів взаємодії випромінювання з речовиною (рівняння Планка, теорія МО, модель гармонічного осцилятора), що є класичною базою дисципліни [1]. По-друге, галузь переживає етап стрімкого розвитку: поява Фур'є-спектрометрів (FTIR) та методів гігантського комбінаційного розсіяння (SERS) кардинально розширила аналітичні можливості, дозволивши аналізувати надскладні системи та навіть окремі молекули [2, 3].

Мета роботи — систематизувати та узагальнити фундаментальні теоретичні основи молекулярної спектроскопії та провести аналіз її сучасного стану і новітніх напрямків розвитку.

У роботі проведено комплексний аналіз теоретичних основ ключових методів спектроскопії. Детально розглянуто квантову природу поглинання в УФ/видимій (переходи $\pi > \pi^*$ та $n > n^*$) та інфрачервоній (закон Гука, силова стала) областях.

Особливу увагу приділено сучасним тенденціям. Проаналізовано переваги Фур'є-спектрометрів над дисперсійними (переваги Феллгетта, Жа-Кіно) [2]. Розглянуто фізичні принципи методів комбінаційного розсіяння, зокрема SERS, що базується на ефекті посилення сигналу поверхневим плазмонним резонансом на наноструктурованих металевих підкладках [3].

Проведений аналіз демонструє, що сучасні високотехнологічні спектральні методи, попри їх апаратну складність, базуються на тих самих фундаментальних квантово-механічних принципах, що й класична спектроскопія. Комплексна систематизація цих знань є важливою науково-методичною задачею для підготовки сучасних фахівців-хіміків, здатних ефективно використовувати весь арсенал аналітичних методів.

1. Banwell C. N., McCash E. M. Fundamentals of Molecular Spectroscopy. *4th ed. New York : McGraw-Hill*, 1994. 304 p.

2. Griffiths P. R., de Haseth J. A. Fourier Transform Infrared Spectrometry. 2nd ed. Hoboken, *NJ : John Wiley & Sons*, 2007. 529 p.

3. Langer J., Jimenez de Aberasturi D., Aizpurua J., et al. Present and Future of SERS. *ACS Nano*. 2020. Vol. 14, № 1. P. 28-117. DOI: 10.1021/acsnano.9b04224.

ФІЗИКО-ХІМІЧНІ ПОКАЗНИКИ ЖИРУ В РОСЛИННИХ ОЛІЯХ, ЯКІСНІ ТА КІЛЬКІСНІ МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Зозуля Ілона Ігорівна,
здобувач освіти другого (магістерського) рівня вищої освіти ІІ курсу,
(ilarianedviga2602@ukr.net)
Житомирський державний університет імені Івана Франка

Євдоченко Олена Сергіївна,
доцент, доктор філософії
lusichemis@gmail.com
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Контроль якості рослинних олій має важливе значення для забезпечення харчової безпеки та довговічності продуктів. Соняшникова олія є однією з найцінніших рослинних олій, що має велике значення для народного господарства та харчової промисловості.[4] Її висока поживна цінність обумовлена значним вмістом тригліцеридів вищих жирних кислот, а також наявністю фосфатидів, стеаринів і токоферолів, які відіграють важливу роль у підтриманні здоров'я людини.За ступенем очищення соняшникова олія поділяється на **рафіновану** та **нерафіновану**. [2] Рафінована, особливо дезодорована, призначена переважно для термічної обробки продуктів. Під час рафінації видаляються осади, слиз, барвники та природний аромат, що робить продукт прозорим, стійким до окиснення і придатним для смаження.В Україні соняшникова олія займає провідне місце серед рослинних жирів і є основним харчовим продуктом у більшості домогосподарств.

Визначення фізико-хімічних показників, таких як перекисне та йодне числа, дозволяє оцінити ступінь окиснення, ненасиченість жирних кислот і стабільність олій під час зберігання. Для проведення дослідження була використана соняшникова олія найбільш розповсюджених торгових марок: «Радема» та «Щедрий Дар» у рафінованому й нерафінованому вигляді. [1]

Визначено такі показники:

- Перекисне число (ПЧ) – кількість активного кисню, виражена в ½ О ммоль/кг, що характеризує ступінь первинного окиснення;
- Йодне число (ЙЧ) – кількість йоду, що приєднується до ненасичених зв'язків жирних кислот, виражена в г йоду на 100 г жиру.Методики виконання відповідають вимогам ДСТУ 4350:2004 та ДСТУ ISO 3961:2019.

Таблиця 1. Результати дослідження

Різновид олії	Перекисне число (½О ммоль/кг)	Норма за ДСТУ(2,0–0,0)	Йодне число	Нормаза ДСТУ (119–136)
«Радема» (рафінована)	7,92	В межах норми	128	В межах норми
«Радема» (нерафінована)	11,2	Вище норми	134	В межах норми
«Щедрий Дар» (рафінована)	5,98	В межах норми	135	В межах норми
«Щедрий Дар» (нерафінована)	4,00	В межах норми	130	В межах норми

Аналіз результатів показав, що усі досліджені зразки відповідають вимогам стандартів за показником йодного числа, що свідчить про достатній вміст ненасичених жирних кислот, характерний для соняшникових олій.

Щодо пероксидного числа, зразок «Радема» (нерафінована) має перевищення нормативу (11,2 ммоль/кг), що може бути наслідком часткового окиснення жирів при зберіганні або порушення умов транспортування. Решта зразків за цим показником відповідають нормі.

Виявлено,що нерафіновані олії демонструють дещо вищі значення перекисного числа, що пов’язано з наявністю природних домішок, фосфоліпідів і залишкових ферментів, які каталізують процеси окиснення.Йодні числа знаходяться в діапазоні 128–135, що свідчить про високу біологічну цінність досліджених олій.

Отже, досліджені зразки рослинних олій за йодним числом повністю відповідають вимогам ДСТУ, що підтверджує належну якість сировини та збереження властивостей жирних кислот. Перевищення норми перекисного числа у зразку «Радема» (нерафінована) свідчить про часткове окиснення, що потребує оптимізації умов зберігання [3] Показано, що рафінування сприяє підвищенню стабільності жиру за рахунок видалення каталізаторів окиснення.Використання комплексного аналізу фізико-хімічних показників дозволяє своєчасно виявити погіршення якості олій і запобігти втраті їх харчової цінності.Отримані результати можуть бути використані для удосконалення системи контролю якості у виробництві рослинних олій. Це зробить текст повністю готовим для подання на конференцію або захист.

1. Генчева В. І., Владова Є. Ю. Фізико-хімінчі показники якості рослинної олії. *Актуальні питання біології, екології та хімії.* 2018. Том 16, №2. С. 108-116.

2. ДСТУ 4492:2005. Олія соняшникова. Технічні умови. Український АПК довідник [Електронний ресурс]. URL https://www.scribd.com/document/669084265/Oliya-sonyashnikova-dstu-4492-2005-1 (дата звернення 10.09.20025).

3. Дубініна А. А., Овчиннікова І. Ф., Дубініна С. О. та ін. Методи визначення фальсифікації товарів. Підручник. К.: Видавничий дім «Професіонал», 2010. 272 с.

4. Чигвінцева О. П., Токар А. В. Харчова хімія: Навчальний посібник. Дніпропетровськ: ТОВ «Принтхаус Римм», 2014. 256 с.

ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ НАНОМАТЕРІАЛІВ У ЗАБЕЗПЕЧЕННІ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ

Іванюк Дар'я Русланівна,
здобувач вищої освіти ІІ курсу другого (магістерського) рівня вищої освіти
ivanukdarina@gmail.com
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Кичкирук Ольга Юріївна,
кандидат хімічних наук, доцент кафедри хімії panova_o_yu@ukr.net
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Анічкіна Олена Василівна
кандидат педагогічних наук, доцент кафедри хімії eva_kvitka@meta.ua
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

У сучасних умовах посиленого техногенного впливу на природу пошук інноваційних засобів її захисту стає одним із ключових завдань науки. Індустріалізація і агротехнічна діяльність створюють значне навантаження на екосистеми, і саме тому потрібні нові засоби, зокрема наноматеріали, для нейтралізації забруднень. Сучасні наноматеріали відіграють ключову роль у формуванні нової концепції «зеленої хімії», орієнтованої на мінімізацію шкідливих відходів, підвищення енергоефективності та збереження екологічної рівноваги. Подальше дослідження їхніх властивостей відкриє нові можливості для сталого розвитку та охорони навколишнього середовища.

Завдяки розвитку нанотехнологій та матеріалознавства з'явилася можливість цілеспрямовано створювати сполуки з прогнозованими властивостями та високою стабільністю у природних системах.

Завдяки великій площі поверхні та високій реактивності, наноматеріали можуть використовуватись в методах очищення води, ґрунтів та повітря шляхом адсорбції важких металів і органічних токсикантів, фотокаталітичне очищення води від токсикантів [1-2].

Наприклад, модифіковані Fe^0 наночастинки, так зване нанозалізо ефективно відновлює та знешкоджує нітрати, хлорорганіку, важкі метали. Перспективний метод для очищення підземних вод і ґрунтів [3]. Нанокаталізатори на основі TiO_2, ZnO, CeO_2 характеризуються фотокаталітичною активністю, сорбційною здатністю і стійкістю до агресивних умов середовища. Під дією світла вони здатні розкладати рідкі та леткі органічні забруднювачі [4].

Окрім того, наноматеріали на основі графену та вуглецевих нанотрубок демонструють значну сорбційну активність щодо іонів важких металів, що робить їх незамінними у системах очищення води та моніторингу стану довкілля [5]. Розвиток технологій синтезу відкриває можливість контролювати морфологію, розмір і енергію поверхні наночастинок, що визначає їхню реакційну здатність і тривалу стабільність. Завдяки цьому створюються нові системи фільтрації, каталізатори, біосенсори й фотокаталітичні покриття, які сприяють переходу промисловості до екологічно безпечних технологій.

Окреме місце посідають матеріали природного або біогенного походження, одержані за допомогою ферментативного чи мікробіологічного синтезу. Такі наноструктури мають біосумісність, не накопичуються в природі та можуть бути відновлені після використання. Поєднання хімічних і біотехнологічних методів дозволяє створювати матеріали, здатні до саморегенерації або фоточутливої дії [5].

Наноматеріали формують нову екологічну парадигму – від очищення середовищ до створення стійких енергетичних та моніторингових систем.

1. Nanomaterials for Remediation of Environmental Pollutants. *Bioinorganic Chemistry and Applications*. 2021.

2. Кунтий О. І., Буклів Р. Л., Бойко Ю. В., Гребень Т. В., Лисенко А. В. Наноматеріали та нанотехнології в очищенні води: огляд. *Chemistry, technology and application of substances*. 2018, №1(1). С. 27-37. https://doi.org/10.23939/ctas2018.01.027

3. Komárek M. Perspectives of soil nanoremediation: the case of nano zerovalent iron and metal(loid) contaminants. *npj Mater. Sustain*. 2024. 2, 8.

4. Gopinath K. P., Madhav N. V., Krishnan A., Malolan R., Rangarajan G. Present applications of titanium dioxide for environmental remediation: A review. 2020. P. 110906. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110906

5. Ibrahima A., Vohra M. S., Bahadic S., Onaizic S., Essa M. H., Mohammeda T. Heavy metals adsorption onto graphene oxide: effect of mixed systems and response surface methodology modeling. *Desalination and Water Treatment*. 2022. P. 78-90. doi: 10.5004/dwt.2022.28615

ПРЯМЕ АТОМНО-АБСОРБЦІЙНЕ ВИЗНАЧЕННЯ Pb(II) В МОЛОЧНИХ ПРОДУКТАХ З АТОМІЗАТОРОМ ГРАФІТОВА "ВТУЛКА-ФІЛЬТР"

Кіртока Іван Анатолійович,
аспірант ІІІ року навчання, kirtoka.ivan@stud.onu.edu.ua
Одеський національний університет імені І.І. Мечникова, Україна

Левкович Яна Юріївна,
здобувачка вищої освіти, levkovich@stud.onu.edu.ua
Одеський національний університет імені І.І. Мечникова, Україна

Арабаджи Михайло В'ячеславович,
кандидат хімічних наук, провідний науковий співробітник amvmail1991@gmail.com
Державне некомерційне підприємство «Український науково-дослідний інститут реабілітації та курортології Міністерства охорони здоров'я України», Україна

Снігур Денис Васильович,
кандидат хімічних наук, доцент, 270892denis@gmail.com
Одеський національний університет імені І.І. Мечникова, Україна

Плюмбум та його сполуки широко застосовуються у оборонній промисловості, будівельній галузі, як компонент сплавів, при виробництві акумуляторів та пігментів. Токсичність його сполук вимагає контролю їх вмісту в об'єктах навколишнього середовища та продуктах харчування, в тому числі в молоці та молочних продуктах. Метод прямого атомно-абсорбційного з електротермічною атомізацією (ЕТ ААС) аналізу відрізняється простотою і високою чутливістю, але вимагає прийняття до уваги різного роду перешкод, які викликані неселективним поглинанням світла від макрокомпонентного складу досліджуваних зразків. Для їх усунення або зниження в практиці ЕТ ААС пропонуються різні прийоми, зокрема пристрої з розділеними зонами випаровування і атомізації, включаючи атомізатор графітову «втулку-фільтр» (ГВФ) та використання «універсального» хімічного модифікатору – суміші нітратів паладію та магнію (Pd-Mg ХМ).

В даній роботі вивчено та оптимізовано умови ЕТ ААС визначення Pb(II) з атомізатором ГВФ в присутності «універсального» Pd-Mg ХМ. Показано, що використання ГВФ з Pd-Mg ХМ дозволяє підняти температуру на стадії озолення до 900 °С, а на стадії атомізації до 2100 °С – що сприяє більш ефективній мінералізації аналізованих зразків, а також приводить до підвищення чутливості визначення Pb приблизно у 1,5 рази в порівнянні з технікою випаровування зі стінки печі. Розроблено методику прямого електротермічного атомно-абсорбційного визначення Pb(II). Градуювальний графік лінійний в інтервалі концентрацій 0.005-0.1 мг/дм^3, а межі виявлення та визначення складають 0.0008 та 0.0028 мг/дм^3.

Таблиця. Результати визначення Плюмбуму(II) (n = 3; P = 0.95)

Зразок	Визначено ($C_{ср}$±ΔC), мг/кг			
	Запропонований метод	RSD, %	Стандартний метод	RSD, %
Молоко 3.2%	0.028±0.002	6.4	0.025±0.004	5.7
Кефір 2.5%	0.035±0.003	3.8	0.037±0.003	3.3
Вершки 10%	0.065±0.006	6.1	0.062±0.007	6.6
Йогурт 1.5%	0.096±0.010	4.9	0.094±0.011	7.4

Результати (таблиця), одержані із використанням запропонованої методики, добре узгоджується з результатами отриманими при використанні стандартного методу (EN 14083:2003), що свідчить про її придатність для визначення Pb(II) в молочних продуктах, а відносне стандартне відхилення не перевищує 6.4%.

ДОСЛІДЖЕННЯ ВМІСТУ МІКРОЕЛЕМЕНТІВ В ГРУНТАХ, ЯКІ ЗАЗНАЛИ ВПЛИВУ БОЙОВИХ ДІЙ

Кочура Є. К.,
Студентка групи І-22/1пх
Сумський державний університет,Україна, м.Суми

Крупська А.,
Магістр кафедри теоретичної та прикладної хімії
Сумський державний університет,Україна, м.Суми

Большаніна С. Б.,
доцент кафедри теоретичної та прикладної хімії
Сумський державний університет,Україна, м.Суми

Земля є найбільшим природним багатством України, адже саме тут зосереджена третина найродючіших ґрунтів світу. Наша країна розташована переважно на рівнинній місцевості, де понад 60% території займають поля та сільськогосподарські угіддя. У зв'язку з цим дослідження вмісту мікроелементів у ґрунтах, що зазнали військових дій, має важливе екологічне та санітарне значення. Воно дозволяє оцінити рівень забруднення токсичними елементами, які потрапляють у довкілля внаслідок вибухів, горіння та руйнування військової техніки, а також визначити ступінь деградації ґрунтів і ризики для рослин, тварин та здоров'я людей. Отримані результати є основою для розроблення заходів із відновлення екосистем і забезпечення безпечного землекористування.

Для дослідження проби відбиралися з різних точок території з урахуванням її неоднорідності. Враховуючи площу ділянки, збиралася достатня кількість зразків для отримання статистично достовірних результатів. Зібрані проби зберігали у вологостійких контейнерах при постійній температурі. Перед аналізом ґрунт висушували, подрібнювали та просівали через сито з діаметром отворів 1–2 мм, після чого рівномірно розподіляли тонким шаром на аркуші паперу. Проби для аналізу відбирали методом «конверта». Зразки бралися як з ушкоджених вибухами ділянок, так і з контрольних, розташованих на відстані близько 5 метрів. Для проведення аналізу на вміст мікроелементів використовували рентгенофлуоресцентний спектрометр THERMO SCIENTIFIC Niton XL2 800.

Отримані дані цього експерименту вказують на те, що вплив зовнішніх механічних факторів, в нашому випадку бойові снаряди та ударні дрони, можуть впливати не тільки на властивості ґрунту, а й на його елементний склад.

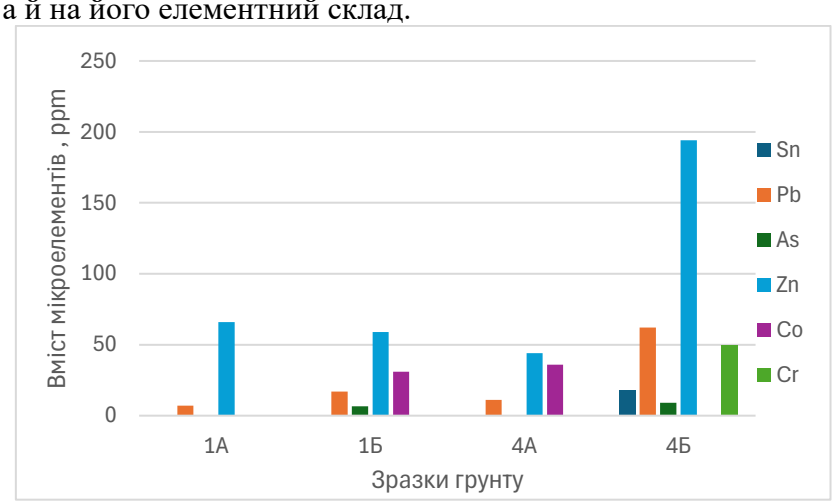


Рис. 1. Вміст мікроелементів в зразках грунту з неушкоджених ділянок (1А , 4А) і ділянок що зазнали впливу від вибухів FPV-дрона (1Б) і вибухів від РСЗВ (4Б)

Порівнюючи результати аналізу проб (Рис. 1) можна побачити підвищення концентрації деяких важких металів, таких як Кобальт, Цинк, Свинець. Проведений аналіз доводить, що військові дії мають безпосередній вплив на ґрунтове середовище, змінюючи його хімічний склад. Найбільш забрудненим виявився зразок, що є прямим наслідком потужного екологічного навантаження внаслідок обстрілу реактивною артилерією.

1. Мачульський Г., Пінчук О. Ґрунтознавство з основами географії ґрунтів: навч. посіб. GlobeEdit, 2023. 137 с.

2. Назаренко І. І., Польчина С. М., Нікорич В. А. Ґрунтознавство: підручник. Чернівці: Книги-ХХІ, 2008. 400 с.

3. Гудзь В. П., Лісовал А. П., Андрієнко В. О., Рибак М. Ф., Землеробство з основами ґрунтознавства і агрохімії: Підручник. /За ред. В. П. Гудзя. Друге видання, перероблене та доповнене. К.: Центр учбової літератури, 2007. 406 с.

4. ДСТУ 4362:2004 Якість ґрунту. Показники родючості ґрунтів [Чинний від 01.01.2006]. К. : ДП «УкрНДНЦ», 2006.

5.Большаніна С. Б., Марченко Л. І., Аблєєв О. Г., Мальований М. С. Екологічний стан та буферні властивості грунтів залежно від актуальної кислотності. *Екологія довкілля та безпека життєдіяльн*. 2008. № 4. С. 59-62

6. Крупська А. М., Большаніна С. Б., Дослідження катіонної ємності ґрунтів у воронках від снарядів. IV Всеукр. інтернет-конф. молодих вчених «Перспективи хімії в сучасному світі», 20 листопада 2024 р. Житомир. С. 153-154.

ОРТО-АЗО ЗАМІЩЕНЕ ПОХІДНЕ ФЕНІЛБОРОНОВОЇ КИСЛОТИ НА ОСНОВІ НЕЙТРАЛЬНОГО ЧЕРВОНОГО ЯК МОЛЕКУЛЯРНИЙ СЕНСОР

Метничук Христина Дмитрівна,
здобувач вищої освіти IV курсу*, metnychuk.khrystyna@student.uzhnu.edu.ua*
ДВНЗ «Ужгородський національний університет», Україна

Чонтош Тетяна Олександрівна,
аспірант III року навчання, *tetiana.chontosh@uzhnu.edu.ua*
ДВНЗ «Ужгородський національний університет», Україна

Фершал Максим Вікторович,
кандидат хімічних наук, доцент, *maksym.ferschal@uzhnu.edu.ua*
ДВНЗ «Ужгородський національний університет», Україна

Розробка молекулярних хімічних сенсорів для визначення біологічно важливих сполук залишається одним із актуальних напрямків розвитку аналітичної хімії та споріднених наук. Одним із підходів для отримання селективного аналітичного сигналу є використання принципу молекулярного розпізнавання. Похідні фенілборонових кислот (ФБК) відповідають ряду вимог до рецепторів оскільки здатні вступати у оборотні реакції етерифікації із важливими органічними аналітами, які містять 1,2 – та 1,3 – діольні фрагменти. Планарна будова молекул ФБК та наявність у атома бору вакантної *p*-орбіталі сприяє високій реакційній здатності похідних ФБК, що використовують у розробці молекулярних сенсорів для визначення карбогідратів (глюкози, фруктози) та нуклеофілів (F^-, CN^-)[1]. ФБК взаємодіє із активними формами кисню та пероксидом зокрема з утворенням відповідного фенолу, що використовують при розробці зондів для визначення активних форм кисню[2].

Сигнальна частина молекулярного сенсора відіграє не менш важливу роль, ніж рецепторна, оскільки відповідає за перетворення хімічної інформації на аналітичний сигнал. У сенсорах із ФБ похідними використовують хімічні структури здатні до зміни спектрофотометричних характеристик під впливом взаємодії із аналітом. Також молекулярний сенсор має бути добре розчинним у воді, нетоксичним, зручним у зчитуванні інформації та обробці сигналу. Використання похідних деяких барвників відповідає ряду з цих вимог. Феназиновий барвник Нейтральний червоний (НЧ), завдяки високій сорбції органами клітин та нетоксичності, використовується у біології для визначення внутрішньоклітинного pH. Молекула НЧ містить донорну диметиламіногрупу та акцепторне феназинове кільце, що сприяє сольватохромії [3]. НЧ – важливий реагент у мікробіологічному аналізу та використовується для оцінки та прогнозування цитотоксичності та ефективності нових лікарських препаратів [4], токсичності хімічних реагентів чи токсинів навколишнього середовища. Гостра необхідність у швидких, точних і нескладних методиках виявлення вірусних інфекцій людей та тварин зумовила перегляд існуючих барвників для цих цілей. Завдяки pH-чутливості та добре помітній зміні кольору НЧ вже досліджується як важливий колориметричний реагент для одностадійного візуального LAMP-аналізу, зокрема на вірус африканської чуми свиней[5], для виявлення коронавірусу 2 (SARS-CoV-2 з низькою межею виявлення [6]. У згаданих роботах НЧ розглядається тільки як окремий індикаторний компонент, а питання його дериватизації для отримання чутливих сенсорних молекул не досліджувалось.

Тому поєднання таких властивостей ФБК та НЧ у одній молекулі може бути перспективним з точки зору використання її як молекулярного сенсора.

Синтез сенсорної молекули (НЧФБ) проводили шляхом азосполучення 3-гідрокси фенілборонової кислоти з нейтральним червоним за модифікованою методикою описаною в [7] з виходом у 40 % .

Структуру молекули підтверджено методом рідинної хроматографії з мас-

спектрометрією та методом ПМР-спектроскопії. Досліджено спектрофотометричні, сольватохромні та протолітичні властивості молекули у водних та водно-метанольних розчинах. Показано, що значні зміни у спектрах світлопоглинання розчинів сенсорної молекули відбуваються при їх опроміненні денним світлом та м'яким ультрафіолетом (365 нм), а також у присутності фруктози та глюкози з контрастністю реакції у 70 нм (Див. Рис.1) Встановлено значення констант протонування реагенту в присутності та за відсутності фруктози. Запропоновано механізми структурних перетворень, що відбувається при опроміненні розчинів УФ-світлом. Досліджено відгук молекули на ряд аналітів різної природи.

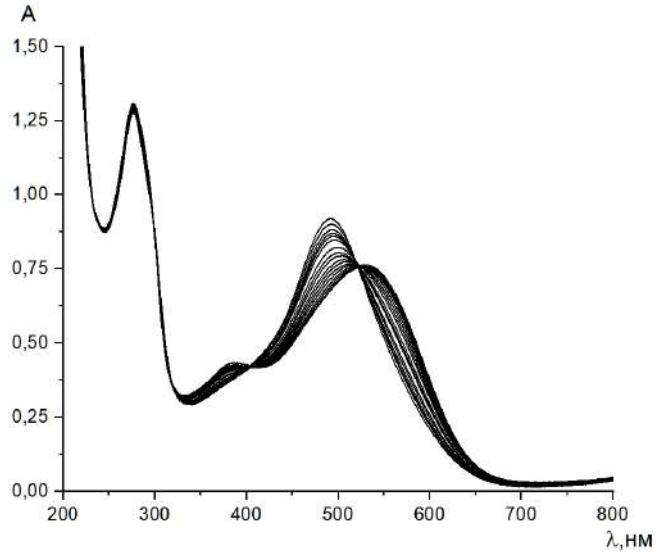


Рис. 1. Динаміка зміни спектрів світлопоглинання НЧФБ у присутності фруктози ($C_{\text{фруктози}}$ 0,01 М, $C_{\text{НЧФБ}}=2{,}54\cdot10^{-5}$, pH=11, час реакції 1 година)

1. Tan S., Kou D., Xue Y., et al. Saccharide sensors based on phenylboronic acid derivatives. *Progress in Chemistry*. 2024. V. 36(1). P. 106-119. https://doi.org/10.7536/PC230519

2. Good S. S., Westover J., Jung K. H., La Colla P., Collu G., Moussa A., Sommadossi J.P. AT-527 is a potent in vitro replication inhibitor of SARS-CoV-2, the virus responsible for the COVID-19 pandemic. *Biorxiv*. 2020. 2020-08.

3. Wang Y., et al. Development of a potential penside colorimetric LAMP assay using neutral red for detection of African swine fever virus. *Frontiers in Microbiology*. 2021. V. 12. Article 609821. https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.609821

4. Alhamid G., Tombuloglu H., Motabagani D., et al. Colorimetric and fluorometric reverse transcription loop-mediated isothermal amplification (RT-LAMP) assay for diagnosis of SARS-CoV-2. *Functional & Integrative Genomics*. 2022. V. 22. P. 1391-1401. https://doi.org/10.1007/s10142-022-00900-5

5. Wang R., Bian Z., Zhan D., Wu Z., Yao Q., Zhang G. Boronic acid-based sensors for small-molecule reactive species: A review. *Dyes and Pigments*. 2021. V. 185. Article 108885.

7. Olorounto O.G., Deniau G., Zekri E., Doizi D., Bertrand J., Corbas V. Development of optical sensors based on neutral red absorbance for real-time pH measurements. Sensors. 2024. V. 24(17). Article 5610.

8. Suzuki Y., Ikeda A., Ohno K., Fujihara T., Sugaya T., Ishihara K. o-Azophenylboronic acid-based colorimetric sensors for D-fructose: o-Azophenylboronic acids with inserted protic solvent are the key species for a large color change. *The Journal of Organic Chemistry*. 2020. V. 85(15). P. 9680-9693.

ВПЛИВ УЛЬТРАЗВУКОВОЇ ОБРОБКИ НА АДСОРБЦІЙНІ ВЛАСТИВОСТІ САПОНІТУ ЩОДО КАТІОНІВ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ

Омельчук Анна Олександрівна,
здобувач вищої освіти ІІ курсу другого (магістерського) рівня вищої освіти,
annaomelchuk2002@ukr.net
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Кичкирук Ольга Юріївна,
кандидат хімічних наук, доцент кафедри хімії, panova_o_yu@ukr.net
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Анічкіна Олена Василівна,
кандидат педагогічних наук, доцент кафедри хімії, eva_kvitka@meta.ua
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Внаслідок інтенсивних бойових дій під час російсько-української війни якість поверхневих і підземних вод в Україні суттєво погіршується. Вони зазнають значного забруднення, зокрема іонами важких металів, серед яких кадмій, ферум, манган, плюмбум, алюміній, титан та інші.

Для очищення стічних вод від іонів важких металів та інших антропогенних забруднень використовують різні методи, серед яких одним із найбільш економічно вигідних і безпечних є адсорбція. Цей метод дає змогу регенерувати та повторно застосовувати адсорбенти після десорбції забруднювачів [1, 2]. Як адсорбенти переважно використовують поруваті природні мінерали різної хімічної природи, зокрема глини природного походження. Ефективним способом «активації» пор цих матеріалів є ультразвукова обробка (УЗ-обробка), яка дозволяє видалити з них адсорбовану воду, гази, підвищуючи ефективність адсорбції.

Робота присвячена вивченню впливу процесу ультразвукової обробки на сорбційні властивості сапонітової глини, обробленої ультразвуком протягом різного часу, щодо іонів Fe(III), Cu(II), Pb(II), Cd(II).

Сорбційні властивості сапоніту, обробленого ультразвуком протягом 10, 20, 30 хвилин щодо катіонів важких металів досліджували у статичних умовах. Початкові та рівноважні концентрації іонів важких металів у розчинах вимірювали методом атомно-абсорбційної спектроскопії. За результатами вимірювань побудовано ізотерми адсорбції іонів з водних розчинів. Побудовані ізотерми продемонстрували подібну форму для всіх досліджених іонів металів. Ця подібність вказує на однотипний механізм адсорбції, імовірно, шляхом дифузії та накопичення у порах (мікропорах/мезопорах) сапоніту.

Обробка ізотерм адсорбції дозволила оцінити граничну сорбційну ємність сапоніту після його УЗ-обробки. Порівняльний аналіз цих результатів щодо іонів Cu^{2+}, Cd^{2+}, Fe^{3+} та Pb^{2+} виявив значну неоднорідність сорбційної здатності. Найбільш суттєве зростання ємності зафіксовано для іонів Fe(III) – до 10 разів. Для іонів Cd(II) приріст також був високим і коливався у межах 9-11 разів. Натомість, для Cu(II) відзначено підвищення сорбційної здатності виявилось приблизно у 2,3 рази, а для Pb(II) зафіксовано порівняно помірне збільшення – лише на 20% відносно вихідного (необробленого) мінералу. Важливо підкреслити, що максимальні значення сорбційної ємності стосовно більшості досліджених катіонів (Fe(III), Cu(II), Pb(II)) були досягнуті на зразку, який піддавався ультразвуковій обробці протягом 20 хвилин.

Таким чином, ультразвукова обробка є ефективним методом підвищення сорбційних властивостей мінералів, зокрема сапоніту, щодо катіонів важких металів. Також слід відмітити, що оптимальний час ультразвукового впливу становить 20 хвилин, за якого досягаються максимальні значення адсорбційної ємності.

1. Ye, Z., Yin, X.; Chen, L., He, X.; Lin, Z., Liu, C.; Ning, S.; Wang, X.; Wei, Y. (2019). An Integrated Process for Removal and Recovery of Cr(VI) from Electroplating Wastewater by Ion Exchange and Reduction-Precipitation Based on a Silica-Supported Pyridine Resin. *J. Cleaner Prod.* 2019, 236, 117631. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.117631.

2. Wang, S.; Lu, A.; Zhang, L. (2016). Recent Advances in Regenerated Cellulose Materials. *Prog. Polym. Sci.*, 53, 169–206. https://doi.org/10.1016/j.progpolymsci.2015.07.003

АНАЛІЗ ВОДНИХ ОБ` ЄКТІВ З ВИКОРИСТАННЯМ НЕОРГАНІЧНИХ СОРБЕНТІВ

Рачинська Вікторія Сергіївна,
здобувач вищої освіти ІІ курсу другого (магістерського) рівня вищої освіти,
vpushkar736@gmail.com
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Кичкирук Ольга Юріївна,
доцент, кандидат хімічних наук
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

У сучасному світі забруднення водних ресурсів стає однією з найактуальніших екологічних проблем. Зростання рівня антропогенного забруднення природного навколишнього середовища вимагає пошуку дешевих ефективних та екологічно безпечних методів очищення. Сучасні хімічні та фізико-хімічні методи очищення забрудненої води, як правило, полягають у активній хімічній дії або фізичному впливі на воду. В процесі такого очищення руйнується структура, зміщується концентраційна рівновага розчинених солей, і, як наслідок, погіршуються фізико-хімічні властивості води. Для збереження чистоти води та забезпечення її якості використовуються різні методи очищення, серед яких сорбція з використанням неорганічних сорбентів є одним із найбільш ефективних.

Тема аналізу водних об"єктів з використанням неорганічних сорбентів є актуальною тому що забруднення води важкими металами, органічними сполуками та іншими токсичними речовинами є серйозною загрозою для екосистем і здоров'я людини. Використання неорганічних сорбентів для аналізу та очищення водних об'єктів дозволяє ефективно знижувати рівень забруднення, що робить ці методи перспективними для покращення якості води в річках, озерах і морях.

Неорганічні сорбенти, такі як цеоліт, активоване вугілля, глини, оксиди металів, використовуються для очищення води завдяки своїй здатності адсорбувати або реагувати з різними забруднювачами. Механізм сорбції залежить від фізико-хімічних властивостей сорбенту та типу забруднювача: це можуть бути як фізичні процеси, так і хімічні реакції, зокрема іонний обмін. Розумне використання повинно лягти в основу найсучасніших технологій очищення водних ресурсів та відходів, які можна перевести у розчинну форму.

Природні глини, цеоліти, доломіти та інші мінерали можна використовувати як сорбенти для видалення важких металів, амонію, фенолів та інших забруднювачів з промислових стічних вод та природних водойм. Мінерали можуть використовуватися у фільтрувальних шарах для очищення води від завислих часток та колоїдів. Гідроксид кальцію (видобутий з вапняків) широко застосовується для осадження іонів важких металів у вигляді гідроксидів. Композитні матеріали, створені на основі природних мінералів (наприклад, модифіковані глини, цеоліти), мають покращені сорбційні властивості та можуть бути ефективнішими за окремі мінерали. Такі матеріали можуть використовуватися у фільтрах для очищення стічних вод від специфічних забруднень, таких як нафтопродукти, фарбники та інші органічні сполуки. При правильній обробці, природні мінерали та композити на їх основі можуть бути більш екологічно безпечними матеріалами для очищення води.

Використання неорганічних сорбентів є ефективним методом для очищення води від забруднювачів, зокрема важких металів та органічних речовин. Проте для оптимізації процесу очищення важливо продовжувати дослідження та розробку нових сорбентів, що забезпечують максимальну ефективність та екологічну безпеку.

1. Яновська Е. С., Затовський І. В., Слободяник М. С. Наукові основи безвідходної технології доочищення промислових стічних вод від сумішей йонів важких металів. *Екологія довкілля та безпека життєдіяльності*. 2008. № 5. С. 50-54.

2. Будняк Т. М., Яновська Е. С., Тьортих В. А., Кичкирук О. Ю. Адсорбційні властивості природних мінералів з in situ іммобілізованим поліаніліном щодо аніонних форм Mo(VI), W(VI), Cr(VI), As(V), V(V) та P(V). *Вопросы химии и химической технологии*. 2010. № 5. С. 43-47.

3. Полонська Я. В., Яновська Е. С., Савченко І. О., Ольховик Л. А., Кичкирук О. Ю. Використання природних мінералів України та композитних матеріалів на їх основі у процесах очищення забруднених природних водойм та промислових стічних вод. С. 43. https://nubip.edu.ua/sites/default/files/u104/zbirnik_tez_3-4_04_19_nubip_ukrayini.pdf

ПОЛЯРОГРАФІЧНЕ ВИЗНАЧЕННЯ СИНТЕТИЧНОГО ХАРЧОВОГО БАРВНИКА КОРИЧНЕВОГО НТ

Рингач Яків Сергійович,
здобувач вищої освіти IV курсу, yakiv.rynhach@lnu.edu.ua
Львівський національний університет імені Івана Франка, Україна

Габрей Іван Іванович,
здобувач вищої освіти III курсу, ivan.habrei@lnu.edu.ua
Львівський національний університет імені Івана Франка, Україна

Трухим Максим Вадимович,
здобувач вищої освіти II курсу магістратури, maksym.trukhym@lnu.edu.ua
Львівський національний університет імені Івана Франка, Україна

Дмухайло Андрій Валер'янович,
аспірант, andrii.dmukhailo@lnu.edu.ua
Львівський національний університет імені Івана Франка, Україна

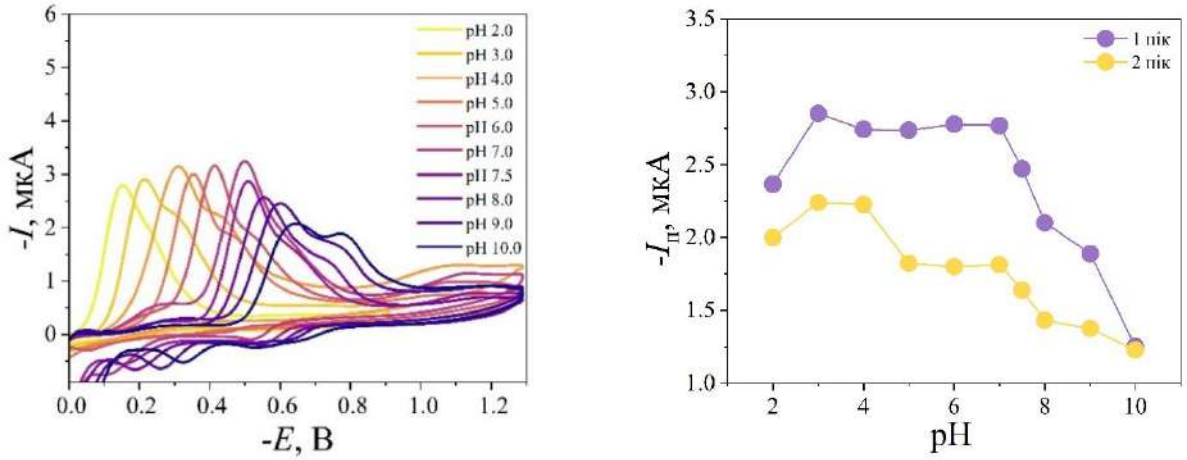
Дубенська Лілія Осипівна,
кандидат хімічних наук, доцент, liliya.dubenska@lnu.edu.ua
Львівський національний університет імені Івана Франка, Україна

Коричневий НТ (КНТ, CAS № 4553-89-3, E 155, назва за ІЮПАК динатрію 4,4-(2,4-дигідрокси-5-гідроксиметил-1,3-феніленбісазо)ди(нафтален-1-сульфонат)) – синтетичний водорозчинний харчовий диазобарвник червонувато-коричневого кольору. У попередній роботі ми повідомляли про деякі особливості електрохімічного відновлення КНТ, яке є доволі складним і потребує подальшого дослідження [1].

Дослідження проводили методом циклічної полярографії на цифровій вольтамперометричній установці з використанням триелектродної електролітичної комірки, де робочий електрод – ртутний краплинний, електрод порівняння – насичений каломелевий, допоміжний – платинова дротина. Характеристика капіляра в буферному розчині Бріттона-Робінсона за pH 3.0 без накладання напруги поляризації: $m = 3.7 \cdot 10^{-5}$ г/с, $\tau = 7.7$ с. Розчинений кисень з комірки видаляли пропусканням через розчин очищеного аргону впродовж 10 хв.

Як видно з рис. 1*а*, на полярограмах реєстрували два катодних та два анодних піки. Кількість піків, та їхній вигляд сильно залежать від pH середовища, яке забезпечували буфером Бріттона-Робінсона. Для підтримання постійного значення іонної сили розчинів у кожен досліджуваний розчин додавали калій хлорид. У всьому діапазоні зміни pH катодні піки перекриваються, тому ми їх математично розділили за допомогою програми Origin 2018. Натомість анодні піки були зареєстровані лише у нейтральному та лужному середовищах. Для катодних піків максимальні струми відновлення реєстрували у кислому середовищі (рис.1*б*), тому для подальших досліджень обрали pH 4.0. Зі міною pH від 2.0 до 10.0 потенціали обох піків відновлення зсуваються в більш негативному напрямку, що свідчить про участь протонів у електрохімічній реакції відновлення азогрупи.

Електрохімічна реакція відновлення барвника утруднена його адсорбцією на поверхні електрода, що було встановлено із залежності $\lg(I_п) = f(v)$ [1], тому всі подальші дослідження виконували зі швидкістю сканування $v = 1$ В/с, за якої реєстрували чіткі піки, добре відтворювані полярограми та велике співвідношення між фоновим струмом та аналітичним сигналом.



а *б*

Рис 1. Полярограми у розчині КНТ за різної кислотності середовища *(а)* та залежності $-I_п = f(\text{pH})$ для катодних піків *(б). Умови: с (КНТ)= 4·10^{-5}, v= 1 В/с*

За підібраних оптимальних умов визначення КНТ (pH 4.0, v = 1 В/с) отримали градуювальний графік для полярографічного визначення барвника. Аналітичні характеристики наведено у таблиці 1.

Таблиця 1. Аналітичні характеристики полярографічного визначення КНТ

Аналітичний параметр	
Межі лінійності, моль/л	$3.0\cdot10^{-6} – 8.0\cdot10^{-5}$
Параметр $a \pm a\Delta$, мкА/М	0.18923 ± 0.02974
Параметр $b \pm b\Delta$, мкА	$(6.3418 \pm 0.0720)\cdot10^{4}$
Коефіцієнт кореляції, R	0.99955
LOD, моль/л	$1.55\cdot10^{-6}$
LOQ, моль/л	$4.69\cdot10^{-6}$

*LOD (межа виявлення) = $3.3S_a/b$
LOQ (межа кількісного визначення) = $10S_a/b$

Як видно з таблиці 1 лінійність струму від концентрації КНТ зберігається у достатньо широких межах, що дає змогу надійно визначати барвник у об’єктах з різним кількісним вмістом.

1. Рингач Я. С., Макров А. В., Дмухайло А. В., Дубенська Л. О. Полярографічна поведінка Е 155. Студентська наукова конференція хімічного факультету: програма та тези доповідей, Львів, Україна, 16 трав. 2024 р. Львів: Малий видавничий центр хімічного та фізичного факультетів ЛНУ імені Івана Франка, 2024. С. 8.

Автори вдячні Simons Foundation за фінансову підтримку досліджень (SFI-PD-Ukraine-00014574)

ОСОБЛИВОСТІ КІЛЬКІСНОГО ВИЗНАЧЕННЯ Co(II) І Zn У СКЛАДІ ТВЕРДИХ РОЗЧИНІВ ФОСФАТІВ

Ткач Артем Олександрович,
здобувач вищої освіти ІІІ курсу, aspirant_nubipu@ukr.net
Національний університет біоресурсів і природокористування України, Україна

Антрапцева Надія Михайлівна,
доктор хімічних наук, професор, aspirant_nubipu@ukr.net
Національний університет біоресурсів і природокористування України, Україна

Біла Галина Миколаївна,
кандидат хімічних наук, доцент, Bilagalina2013@gmail.com
Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

Розширення асортименту твердих розчинів моно- і дифосфатів для різноманітних галузей науки і техніки вимагає постійного аналітичного контролю їх якості і, зокрема, вмісту двовалентних металів. Одночасна присутність в складі твердих розчинів двох катіонів з близькими характеристиками робить кількісний аналіз досить складним процесом. Визначення складу ще більш ускладнюються, якщо об'єктом аналізу є сполуки, в яких поряд з парою катіонів присутній фосфатний аніон [1]. Аналіз таких сполук вимагає індивідуального підходу до відпрацювання методики стосовно кожної конкретної пари катіонів. Такі дані про визначення кобальту(II) і цинку під час їх спільної присутності у літературі відсутні.

Мета роботи – дослідити методичні особливості кількісного визначення вмісту кобальту(II) і цинку під час їх спільної присутності у складі твердих розчинів фосфатів та вплив на результати аналізу фосфат-йонів.

Для дослідження використовували еталонні суміші розчинів з відомою концентрацією катіонів, які готували з $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ (28,31% ZnO), $CoSO_4 \cdot 7H_2O$ (16,38% CoO) кваліфікації “ч.д.а.”. Фосфат йон додавали у вигляді Na_2HPO_4 (31,83% P_2O_5) “х.ч.”.
Вміст PO_4^{3-} в аліквоті розчину, що аналізується, змінювали в межах 0,5-28,4 мг (у перерахунку на P_2O_5). Вміст суми катіонів цинку і кобальту(II) визначали комплексонометричним титруванням (похибка 1% відн.), кобальту – спектрофотометричним аналізом (спектрофотометр СФ–46, похибка 0,5% відн.). Вміст катіонів відповідав їх теоретично розрахованому вмісту в твердих розчинах фосфатів різного складу.

Для вибору методу комплексонометричного визначення вмісту Zn^{2+} в еталонних розчинах, що імітують тверді розчини фосфатів кобальту(II)- цинку, виконували дві серії дослідів. У першій серії оцінювали можливість визначення вмісту Zn^{2+} в присутності різної концентрації аніону PO_4^{3-} методом прямого титрування (0,01 н розчин ЕДТА, pH 10, індикатор еріохром чорний Т). У другій серії – зворотним титруванням (трилон Б, стандартний розчин магній сульфату, індикатор еріохром чорний Т, аміачний буферний розчин з pH 10.0). Результати аналізів показали, що збільшення концентрації фосфат-йону в аліквоті розчину з 0,5 до 28,4 мг (у перерахунку на P_2O_5) не заважає визначенню цинку комплексонометричним титруванням прямим або зворотним методами.

Визначення суми Co^{2+} і Zn^{2+} у модельних розчинах фосфатів виконували зворотним титруванням. Co^{2+} визначали у вигляді його комплексу з ПАР (1-(2-піридилазо) – резорцин): довжина хвилі світлопоглинання λ = 510 нм, pH розчину 6,5-9,0 (цитратно-аміачний буферний розчин), концентрація Co^{2+} 0.1-4.0 мкг/мл, оптимальна концентрація ПАР – 60 мкг/мл. За таких умов при взаємодії Co^{2+} з ПАР утворюється стійкий забарвлений комплекс [2]. Вміст цинку розраховували як різницю між сумою катіонів та вмістом Co^{2+}. Результати цього визначення свідчать про значний вплив на похибку аналізу наявності фосфат йону.

Тому для визначення максимально допустимої концентрації в аліквоті розчину йону PO_4^{3-} виконували серію дослідів, поступово збільшуючи його вміст. Результати експерименту

показали, що вміст PO_4^{3-} лише на рівні 2,4 мкг (у перерахунку на фосфор) не впливає на результати аналізу. У разі його перебільшення для отримання коректних результати необхідне видалення PO_4^{3-}.

Вивчення можливості усунення впливу аніону PO_4^{3-} на результати кількісного визначення вмісту Co^{2+} і Zn^{2+} в складі твердих розчинів фосфатів виконували в окремій серії дослідів, використовуючи метод йонного обміну. Для заміни PO_4^{3-} на Cl^--йон, який, як було попередньо визначено, не заважає виконанню аналізу, штучно виготовлені розчини з різною концентрацією йонів PO_4^{3-}, Co^{2+} і Zn^{2+} пропускали через колонку з аніонітом в Cl^- - формі (аніоніт ЕДЕ–10П).

Результати аналізів показали, що така заміна PO_4^{3-} на Cl^--йон дозволяє виконувати кількісне визначення вмісту кобальту(II) і цинку під час їх одночасної присутності у зразках, що містять значні концентрації PO_4^{3-} (до 85,17 мг в перерахунку на P_2O_5).

Таким чином, досліджено методичні особливості і конкретні умови кількісного визначення вмісту кобальту(II) і цинку під час їх спільної присутності у твердих розчинах моно- і дифосфатів. Визначено концентраційні межи вмісту фосфатного аніону, які не впливають на результати аналізу. Показано, що завдяки методу йонного обміну PO_4^{3-} на Cl^--йон можна отримувати коректні результати аналізу за концентрації PO_4^{3-} до 85,17 мг (у перерахунку на P_2O_5).

1. Acton A.Q. Phosphates – advances in research and application. *Atlanta, Georgia : Scholarly Editions*, 2013. 374 p.

2. Robertson L. Etude de Pigments Thermochromes Autour du Cobalt II. Bordeaux : Materiaux, *Universite Sciences et Technologies*, 2010. 242 p.

ВОЛЬТАМПЕРОМЕТРИЧНЕ ВИЗНАЧЕННЯ ДІАМАНТОВОГО ЧОРНОГО З ВИКОРИСТАННЯМ ДРУКОВАНОЇ КОМІРКИ З РОБОЧИМ АЛМАЗНИМ, ДОПОВАНИМ БОРОМ, ЕЛЕКТРОДОМ

Трухим Максим Вадимович,
здобувач другого (магістерського) рівня вищої освіти ІІ курсу, maksym.trukhym@lnu.edu.ua
Львівський національний університет імені Івана Франка, Україна

Дмухайло Андрій Валер'янович,
аспірант, andrii.dmukhailo@lnu.edu.ua
Львівський національний університет імені Івана Франка, Україна

Комарницька Вікторія Юліанівна,
здобувач першого (бакалаврського) рівня вищої освіти ІІІ курсу, @lnu.edu.ua
Львівський національний університет імені Івана Франка, Україна

Салагуб Тетяна Віталіївна,
здобувач першого (бакалаврського) рівня вищої освіти ІІІ курсу, @lnu.edu.ua
Львівський національний університет імені Івана Франка, Україна

Дубенська Лілія Осипівна,
к.х.н., доцент, liliya.dubenska@lnu.edu.ua
Львівський національний університет імені Івана Франка, Україна

Вольтамперометричний аналіз є швидким, простим, точним, економічно привабливим (обладнання є порівняно дешевим та не потребує значних енергетичних затрат), не пов'язаний із великою кількістю відходів, здебільшого не потребує використання дорогих органічних розчинників, що також робить його екологічно безпечним [1, 2].

Типовими об'єктами вольтамперометричного аналізу є синтетичні харчові барвники, використання яких суворо регламентується. Серед них для дослідження ми обрали барвник діамантовий чорний (ДЧ, Е151) − добре розчинний у воді диазобарвник, який широко використовують для зафарбовування харчових продуктів, напоїв та фармацевтичної продукції завдяки його насиченому фіолетовому кольору [3]. Однак, підтверджено, що вживання ДЧ спричиняє значні наслідки для здоров'я (наприклад, сильні астматичні та алергічні реакції, а також підвищену гіперактивність у дітей) [4].

У цій роботі ми вперше дослідили електрохімічну поведінку та розробили методику визначення ДЧ з використанням друкованої комірки з робочим алмазним, допованим бором, електродом (ДК/АДБЕ). Це проста, доступна та універсальна альтернатива звичайним твердим електродам у вольтамперометрії, яка здатна забезпечити селективність та достатню чутливість[5].

Методом циклічної вольтамперометрії (ЦВ) ми дослідили вплив pH середовища на потенціал та струм відновлення/окиснення Е 151. На циклічних вольтамперограмах, отриманих у розчинах 100 мкМ ДЧ в середовищі універсальної буферної суміші (УБС) в межах pH 2,6−11,1 простежували кілька піків окиснення та відновлення. Окрім цього, методом ЦВ дослідили вплив швидкості та напряму накладання напруги поляризації, діапазону потенціалів та способу активації АДБЕ, а методами квадратно-хвильової (КХВ) та диференціальної імпульсної вольтамперометрії (ДІВ) – вплив інструментальних параметрів (амплітуди та тривалості імпульсу, зміни потенціалу в основі імпульсу та паузи між імпульсами) на аналітичний сигнал барвника. Ці експерименти дали змогу підібрати оптимальні умови, за яких спостерігаються найчіткіші піки та найбільші струми окиснення.

За цих умов побудували градуювальні графіки для вольтамперометричного визначення ДЧ методами ЦВ, ДІВ та КХВ. Використання ДК/АДБЕ в сукупності з ДІВ та КХВ

забезпечували нижчі межі виявлення у діапазоні концентрацій 2,02 – 2,89 мкМ. Крім того, для цих методів отримали широкі лінійні діапазони (1,0 – 100,0 мкМ), що підкреслює їх універсальність у польових застосуваннях.

Можливості розробленої вольтамперометричної методики перевірили шляхом визначення ДЧ одночасно за двома піками окиснення (на рис.1 позначено 1а та 2а) методом ДІВ у модельному розчині безалкогольного газованого напою, який спочатку збагатили барвником. Уведену концентрацію барвника визначали методом багатьох добавок. Відповідні вольтамперограми методом ДІВ (а, б) та градуювальні графіки методу багатьох добавок (в, г) показані на рис. 1. Як видно з вольтамперограм (рис. 1 а, б крива (ф)), не було виявлено жодних перешкод від компонентів напою.

Для оцінювання точності розробленого методу були розраховані значення RSD та ступінь визначення, які наведено в таблиці 1. Враховуючи, що отримані значення ступеня визначення (102,0 і 103,0 %) знаходяться в допустимому діапазоні, а також низькі значення RSD (1,49 і 2,10%), можна стверджувати, що метод демонструє адекватну точність для визначення ДЧ у газованих напоях. Крім того, для оцінювання наявності значущої різниці між знайденою та уведеною відомою кількістю було використано *t*-критерій Стьюдента, усі розраховані значення якого ($t_{екс}$) є нижчими за критичне $t_{p,n}$ = 3,18 (табл. 1), що вказує на придатність використання обох піків для визначення ДЧ. Усі результати свідчать, що використовуючи метод ДІВ та ДК/АДБЕ можна ефективно визначати ДЧ у комерційних напоях. Методика проста, надійна та достатньо чутлива і селективна для визначення ДЧ в реальних зразках.

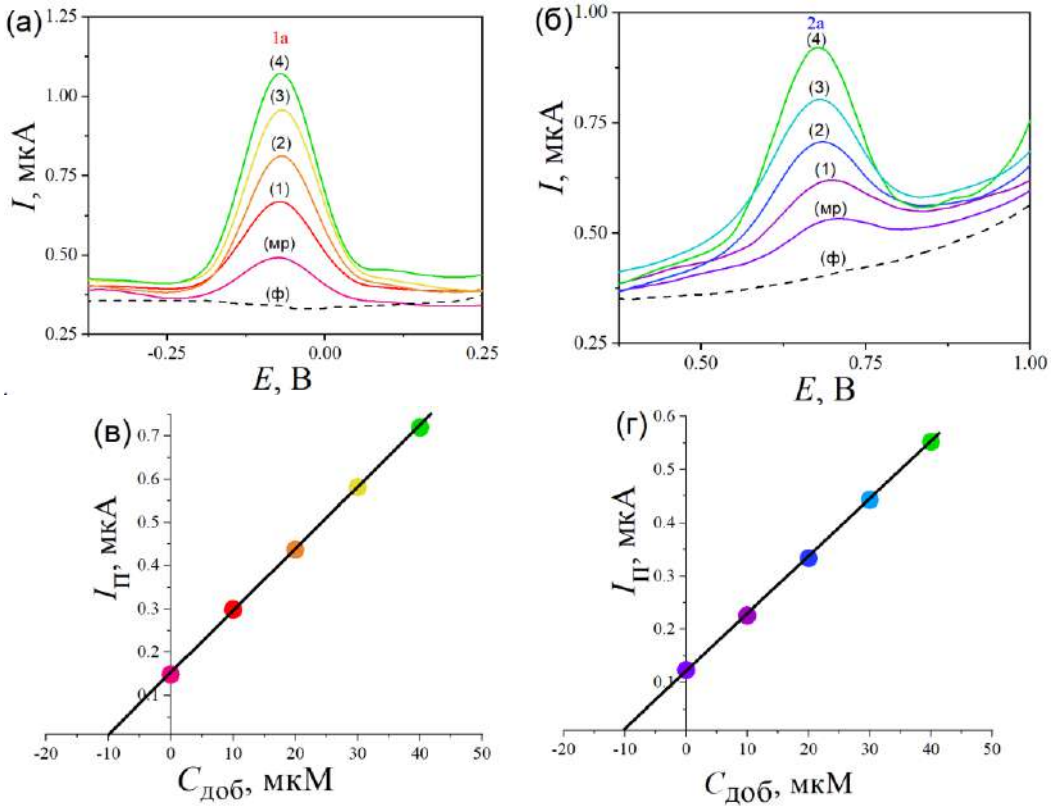


Рис. 1. Диференціальні імпульсні вольтамперограми (а, б) та відповідні графіки методу багатьох добавок (в, г), які отримано на ДК/АДБЕ, для визначення ДЧ у збагаченому безалкогольному напої: (ф) лінія фонового струму – УБС, pH 6,0; (мр) – модельний розчин безалкогольного напою, збагачений ДЧ; (1) – (мр) + добавка 10,0 мкМ; (2) – (мр) + добавка 20,0 мкМ; (3) – (мр) + добавка 30,0 мкМ; (4) – (мр) + добавка 40,0 мкМ.

Таблиця 1. Результати визначення ДЧ у безалкогольному газованому напої отримані на ДК/АДБЕ за допомогою розробленої вольтамперометричної методики

Метод	Пік	Уведено, мкМ	Знайдено [а], мкМ	RSD [б], %	Ступінь визначення [в], %	$t_{екс}$ [г]
ДІВ	1a	29,0	(29,6 ± 0,7)	1,49	102,0	2,72
	2a		(29,9 ± 1,0)	2,10	103,0	2,86

[а] $X_{сер} \pm \Delta$, де $\Delta = \frac{t_{p,n} S}{\sqrt{n}}$; $P = 95\%$, $n = 4$, $t_{p,n} = 3{,}18$;

[б] $RSD = \frac{S}{X_{сер}} \cdot 100\%$, де $S = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^{n}(X_i - X_{сер})^2}{n-1}}$;

[в] Ступінь визначення = 100% + [(знайдене значення – уведене значення)/знайдене значення] × 100%;

[г] $t_{екс} = \frac{(X_{сер} - \mu)\sqrt{n}}{S}$, де μ – уведене значення.

1. Devnani H., Sharma C. Recent Advances in Voltammetric Sensing. *Frontiers in Voltammetry*. 2022. https://doi.org/10.5772/intechopen.108595

2. Coldibeli B., Sartori E. R. A sustainable and highly sensitive voltammetric method for the simultaneous determination of indigo carmine and carmoisine using a boron-doped diamond electrode. *Analytical Methods*. 2025. https://doi.org/10.1039/d5ay01336d

3. Silva M. M., Reboredo F. H., Lidon F. C. Food Colour Additives: A Synoptical Overview on Their Chemical Properties, Applications in Food Products, and Health Side Effects. *Foods*. 2022. Vol. 11, no. 3. P. 379. https://doi.org/10.3390/foods11030379

4. Scientific Opinion on the re-evaluation of Brilliant Black BN (E 151) as a food additive. *EFSA Journal*. 2010. Vol. 8, no. 4. P. 1540. https://doi.org/10.2903/j.efsa.2010.1540

5. Couto R. A. S., Lima J. L. F. C., Quinaz M. B. Recent developments, characteristics and potential applications of screen-printed electrodes in pharmaceutical and biological analysis. *Talanta*. 2016. Vol. 146. P. 801–814. https://doi.org/10.1016/j.talanta.2015.06.011

Автори вдячні Simons Foundation за фінансову підтримку (SFI-PD- Ukraine-00014574)

ДОСЛІДЖЕННЯ АНТРОПОГЕННОГО ВПЛИВУ НА КИСЛОТНІСТЬ ҐРУНТІВ

Шаран Тетяна Олександрівна,
здобувач вищої освіти IV курсу, tillajti8@gmail.com
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Кичкирук Ольга Юріївна,
кандидат хімічних наук, доцент, Kychkyruk-O@zu.edu.ua
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Петренко Іван Васильович,
здобувач вищої освіти IV курсу, chem@ukr.net
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Кислотність є одним із ключових показників стану ґрунтів. Вона визначає хімічну активність, впливає на рухливість елементів, життєдіяльність мікроорганізмів і доступність поживних речовин для рослин. Зміни кислотно-лужної рівноваги прямо відображають екологічні процеси, що відбуваються під дією як природних, так і антропогенних чинників. Тому дослідження кислотності є важливим напрямом моніторингу довкілля та оцінки якості земельних ресурсів.

Сучасна господарська діяльність людини, використання мінеральних добрив, промислові викиди, транспортні забруднення, кислотні опади, побутові стоки, спалювання палива, військові дії – усі ці процеси формують антропогенне навантаження, яке поступово змінює природний рівень кислотності. У результаті відбувається зміщення кислотно-лужного балансу і зниження буферної здатності ґрунтового середовища. Такі процеси впливають не лише на родючість, а й на стійкість екосистем, спричиняючи деградацію ґрунтового покриву.

Ґрунтова кислотність може бути представлена у трьох основних формах – активній, обмінній та гідролітичній. Кожна з них характеризує певний аспект хімічної рівноваги.

Активна кислотність (pH водної витяжки) відображає поточну концентрацію іонів водню у ґрунтовій витяжці. Її визначають потенціометричним методом за допомогою pH-метра, що забезпечує швидкість, точність і можливість безреагентного аналізу. Цей метод широко застосовується у польових та лабораторних дослідженнях, оскільки дозволяє оперативно оцінювати стан ґрунтового розчину.

Обмінна кислотність характеризує кількість іонів H^+ і Al^{3+}, здатних перейти у розчин під впливом нейтральних електролітів. Для її визначення використовують розчин хлориду калію (KCl), який витісняє ці іони з поверхні ґрунтових колоїдів. Вимірювання pH у такій суспензії дає змогу визначити запас потенційно кислих центрів і оцінити ступінь насиченості поглинального комплексу. Цей показник важливий для розуміння буферної здатності ґрунтів і процесів катіонного обміну, які відіграють вирішальну роль у стійкості до антропогенних змін.

Гідролітична кислотність характеризує приховані запаси кислотних іонів, що можуть звільнятися при взаємодії з гідролітично активними речовинами. Її визначають титриметричним методом за Каппеном із застосуванням натрій ацетату. Метод базується на титруванні ґрунтової витяжки у натрій ацетаті лугом до нейтрального стану, що дозволяє виявити кількість іонів, здатних потенційно знижувати pH при зміні умов середовища. Цей вид кислотності є найбільш показовим у дослідженнях тривалого антропогенного навантаження, адже саме гідролітичні процеси визначають можливість поступового підкислення ґрунту в часі.

Порівняння результатів дослідження за трьома видами кислотності дозволяє скласти цілісне уявлення про стан ґрунтів і спрямованість їхніх змін. Так, активна кислотність характеризує безпосередній хімічний стан, обмінна – потенційну рухомість кислотних іонів, а

гідролітична – довготривалі тенденції трансформації ґрунтового профілю. Комплексне застосування цих методів створює можливість більш глибокої оцінки впливу людської діяльності на хімічний баланс територій.

Для вивчення антропогенного впливу доцільно проводити порівняльний аналіз проб, відібраних у зонах із різним рівнем техногенного навантаження. Такий підхід дає змогу простежити закономірності змін кислотності у просторі та виявити характер реакції ґрунтів на зовнішній вплив. Співставлення результатів із фоновими значеннями дозволяє оцінити масштаби відхилення від природного стану та виявити ділянки із найвищим ступенем деградації.

Сучасні дослідження показують, що тривале антропогенне навантаження призводить до підкислення ґрунтів, зниження вмісту кальцію й магнію, посилення процесів міграції важких металів і зменшення біологічної активності. Зміни кислотності також впливають на колообіг азоту, фосфору та сірки, а отже – на продуктивність екосистем загалом. Водночас систематичне спостереження за показниками кислотності дає змогу оперативно виявляти ранні ознаки деградації й планувати заходи для стабілізації хімічного стану ґрунтового покриву.

Таким чином, дослідження антропогенного впливу на кислотність ґрунтів має важливе теоретичне й практичне значення. Воно забезпечує розуміння механізмів зміни ґрунтового середовища під впливом людської діяльності, дозволяє прогнозувати наслідки техногенних процесів і формує наукову основу для екологічного моніторингу, рекультивації земель та сталого природокористування.

У роботі здійснено порівняльний аналіз ґрунтів, що зазнали хімічного та термічного впливу боєприпасів із ґрунтами міської зони (парки, зелені насадження, придорожні смуги). Результати дослідження показали, що зони бойових дій характеризуються катастрофічним, висококонтрастним (від сильного підкислення до локальної нейтралізації) та гострим впливом, що веде до різкого зростання обмінної та гідролітичної кислотності через хімічне забруднення та механічне перемішування. При цьому ґрунти Житомира демонструють хронічне, менш виражене підкислення, спричинене традиційним міським та агротехногенним навантаженням.

Гідролітична кислотність є найбільш чутливим показником для оцінки загальної потенційної шкоди в обох зонах, оскільки вона відображає максимальну здатність ґрунту до утворення токсичних іонів Al^{3+}, що є критичним для відновлення родючості.

СЕКЦІЯ 3:

Органічна, біоорганічна хімія та хімія ВМС

ДІЯ ПОВЕРХНЕВО-АКТИВНИХ РЕЧОВИН ШАМПУНІВ НА БУДОВУ ТА СТАН ВОЛОССЯ

Варава Іванна Дмитрівна,
здобувач вищої освіти IV курсу, varavaivanna3@gmail.com
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Авдєєва Ольга Юріївна,
доктор філософії, доцент кафедри хімії, avdeeva8909@gmail.com
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Для очищення волосся шампуні містять поверхнево-активні речовини (ПАР) – амфіфільні сполуки, що розчиняють надлишковий себум і забруднення. ПАР становлять основу складу будь-якого шампуню і відповідають не лише за миючу здатність і піноутворення, а й за перенесення на волосся кондиціонуючих активних компонентів.

Поверхнево-активні речовини (ПАР) – це специфічні хімічні сполуки, які мають унікальну молекулярну будову, що дає їм змогу знижувати поверхневий натяг рідин. Завдяки цій властивості ПАР проявляють широкий спектр функціональних можливостей і є незамінними компонентами практично в багатьох галузях промисловості, зокрема в побутовій хімії, косметиці, фармації та виробництві миючих засобів.

Варто зазначити, що волосся людини складається переважно з білка кератину та невеликої кількості ліпідів, серед яких особливу роль відіграє 18-метилейкозанова кислота (18-MEA). Саме ці сполуки формують зовнішній гідрофобний шар кутикули, що забезпечує гладкість, еластичність і захисні властивості волосся. Цей ліпідний бар'єр забезпечує захист волосся від зовнішніх факторів, утримує вологу і надає йому блиску та еластичності. Порушення цілісності цього шару збільшує гідрофільність волосся, що робить його ламким та тьмяним [1].

ПАР поділяють на чотири основні групи: аніонні, катіонні, амфотерні та неіоногенні. Аніонні ПАР, такі як Sodium Lauryl Sulfate (SLS) і Sodium Laureth Sulfate (SLES), мають високу мийну здатність, але здатні руйнувати ліпідний шар кутикули, що веде до підвищеної втрати білків і води з волосся. Амфотерні ПАР, зокрема Cocamidopropyl Betaine, є значно м'якшими. Вони зменшують статичну електрику, закривають кутикулу та утворюють гладку поверхню покращуючи розчісування волосся [2]. Неіоногенні ПАР (наприклад, алкілполіглікозиди) виготовляються з природних джерел і мають високі дерматологічні характеристики, не пошкоджуючи структуру волосся навіть при частому митті. ПАР утворюють міцели, що «захоплюють» частинки жиру: гідрофобна частина молекули взаємодіє з себумом, а гідрофільна – з водою. При надмірному застосуванні аніонних ПАР структура кутикули стає більш негативно зарядженою, що призводить до електростатичного відштовхування волокон, появи фризу та втрати блиску. Крім того, це може призводити до надмірного видалення природних ліпідів і білкових фракцій волосся, результатом чого стає висушування, шорсткість і ламкість волосся. Саме тому після миття часто застосовують кондиціонери з катіонними ПАР або полімерами, які осідають на поверхні волосини, нейтралізують негативний заряд і відновлюють гідрофобні властивості кутикули.

Ученими виявлено, що лужний pH шампуню (>5,5) посилює негативний заряд на поверхні волокон збільшуючи тертя між ними та підвищуючи крихкість волосся. Водночас шампуні з pH 4,5–5,5 зменшують пошкодження кутикули та статичну електрику забезпечуючи гладкість волосся [3].

Регулярне використання сульфатних шампунів призводить до видалення 18-MEA з поверхні кутикули, що робить волосся пористим і вразливим до механічних пошкоджень. Згідно з дослідженням науковців, при контакті з SLS спостерігалася значна втрата ліпідів з кутикули волосся, що порушує її бар'єрну функцію. Модифікація поверхні полімерними амінами дозволила зменшити втрату ліпідів до 52-81% [4].

Сучасні формули спрямовані на зниження агресивності ПАР за рахунок комбінування аніонних і амфотерних речовин, додавання катіонних полімерів, силіконів і натуральних олій. Було досліджено, що використання масел (зокрема кокосової та арганової олії) значно зменшує втрату білків і полегшує розчісування волосся, створюючи на його поверхні тонку гідрофобну плівку [1].

ПАР є невід'ємною складовою шампунів, однак саме їхній хімічний склад і властивості визначають стан волосся після миття. Аніонні ПАР (зокрема SLS і SLES) добре очищують, але можуть пошкоджувати ліпідний шар волосся, роблячи його сухим і ламким. Натомість м'які амфотерні та неіоногенні ПАР діють делікатніше – зберігають цілісність кутикули, підтримують природне зволоження та надають волоссю блиску.

Для оптимального догляду важливо обирати шампуні з pH нижче 5,5, які містять комбінацію пом'якшувальних компонентів. Вони знижують поверхневий заряд волосся, мінімізують втрату ліпідів, допомагають зберегти його еластичність, міцність і природний вигляд. Це дозволяє зберегти механічну цілісність волосся і запобігати появі ламкості та тьмяності.

Отже, раціональний вибір засобів для миття волосся, з урахуванням типу волосся та властивостей ПАР, є важливою умовою підтримання його краси, міцності та життєвої сили.

1. D'Souza P., Rathi S. K. Shampoo and conditioners: What a dermatologist should know? *International Journal of Trichology.* 2015. Т. 7, № 1. С. 11–16. DOI: 10.4103/0974-7753.153450. URL: https://doi.org/10.4103/0974-7753.153450 (дата звернення: 02.11.2025).

2. Xie J. The role of Cocamidopropyl Betaine in shampoo: its functions and potential side effects. *Yeser Chemicals Blog.* 2023. URL: https://yeserchem.com/cocamidopropyl-betaine-in-shampoo-functions-and-potential-side-effects/ (дата звернення: 02.11.2025).

3. Dias M. F. R. G., Almeida A. M., Cecato P. M. R., Adriano A. R., Pichler J. The shampoo pH can affect the hair: myth or reality? *International Journal of Trichology.* 2014. Т. 6, № 3. С. 95–99. DOI: 10.4103/0974-7753.139078. URL: https://doi.org/10.4103/0974-7753.139078 (дата звернення: 02.11.2025).

4. Song S.-H., Lim J. H., Son S. K., Choi J., Kang N.-G., Lee S.-M. Prevention of lipid loss from hair by surface and internal modification. *Scientific Reports.* 2019. Т. 9. DOI: 10.1038/s41598-019-46370-x. URL: https://doi.org/10.1038/s41598-019-46370-x (дата звернення: 02.11.2025).

СИНТЕЗ 1-ЗАМІЩЕНИХ 2-{[(1-БЕНЗИЛ-1H-1,2,3-ТРИАЗОЛ-4-ІЛ)МЕТИЛ]ТІО}-4-АРИЛІДЕН-1H-ІМІДАЗОЛ-5(4H)-ОНІВ

Ващук Дарина Сергіївна,
здобувач ІІ курсу другого (магістерського) рівня вищої освіти,
Волинський національний університет імені Лесі Українки, Україна

Салієва Леся Миколаївна,
кандидат хімічних наук, доцент, saliieva.lesia@vnu.edu.ua
Волинський національний університет імені Лесі Українки, Україна

Сливка Наталія Юріївна,
доктор хімічних наук, професор,
Волинський національний університет імені Лесі Українки, Україна

2-Тіогідантоїни (2-тіоксоімідазолідин-4-они) належать до привілейованих типів гетероциклічних сполук, що ймовірно обумовлено використанням їх похідних у терапії раку передміхурової залози [1, 2] (рис. 1). Крім того, функціоналізовані 2-тіогідантоїни відзначаються багатообіцяючою протимікробною, антиоксидантною, антипаразитарною активностями. В їх ряду також відкрито потенційні інгібітори діаденозинмонофосфат синтетази (c-di-AMP) та тирозинази [3].

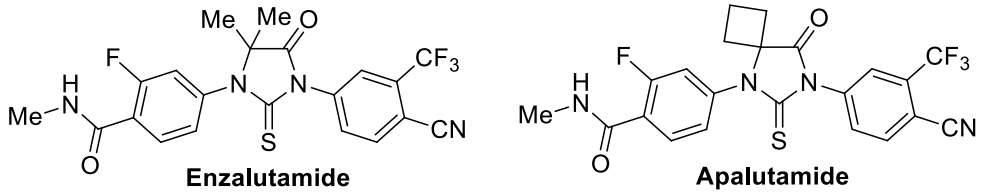


Рис. 1. Препарати на основі 2-тіогідантоїну для лікування раку передміхурової залози.

Не менш привабливими з погляду біологічної активності є похідні на основі 1,2,3-триазольного ядра, яке є невід'ємною частиною лікарського засобу карбоксиамідотриазолу [4]. Серед 1,2,3-триазолів знайдено сполуки з антимікробною, протизапальною, протитуберкульозною, противірусною, антилейшманіозною та антитрипаносомною активностями [5]. З урахуванням зазначеного вище видавалося науково обґрунтованою задачею сконструювати новий тип гетероциклічної системи, у якому 2-тіогідантоїнов ядро було поєднане із триазольним циклом.

Аналіз літературних джерел засвідчив, що найпоширенішим варіантом конструювання 1,2,3-триазольного ядра є реакція [3+2] циклоприєднання, каталізована іонами Cu(I) (CuAAC) [6]. Саме тому завданням нашого дослідження стало введення у молекулу 2-тіоксоімідазолідин-4-онів термінального алкіну, який слугуватиме зручним фрагментом для добудови триазольного ядра.

Для реалізації поставленої задачі як вихідні субстрати використано низку синтетично доступних 3-заміщених 5-ариліден-2-тіогідантоїнів **1**, які вводили в реакцію алкілювання пропаргіл бромідом у розчині лугу з отриманням відповідних 4-ариліден-1-R-2-(проп-2-ін-1-ілтіо)-1*H*-імідазол-5(4*H*)-онів **2**. Наступним кроком стала реалізація «клік»-реакції отриманих похідних **2** та бензил азиду у системі розчинників *трет.*-бутанол-вода, яка привела до цільових продуктів **3** з високими виходами (схема 1).

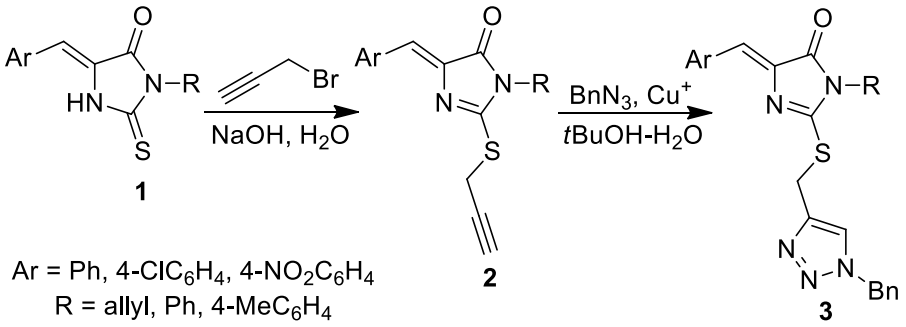


Схема 1. Синтез 1-заміщених 2-{[(1-бензил-1*H*-1,2,3-триазол-4-іл)метил]тіо}-4-ариліден-1*H*-імідазол-5(4*H*)-онів **3.**

Склад та будову 1-заміщених 2-{[(1-бензил-1*H*-1,2,3-триазол-4-іл)метил]тіо}-4-ариліден-1*H*-імідазол-5(4*H*)-онів **3** надійно підтверджено комплексним фізико-хімічним аналізом, зокрема, даними ЯМР ^{1}H-, ^{13}C-спектроскопії, хроматомас-спектрометрії, а також елементним аналізом.

1. McCutcheon S. B. Enzalutamide: a new agent for the prostate cancer treatment armamentarium. *J. Adv. Pract. Oncol.* 2013. Vol. 4. P. 182-185.

2. Clegg N. J., Wongvipat J., Joseph J. D., Tran C., Ouk S., Dilhas A., Chen Y., Grillot K., Bischoff E. D., Cai L., Aparicio A., Dorow S., Arora V., Shao G., Qian J., Zhao H., Yang G., Cao C., Sensintaffar J., Wasielewska T., Herbert M. R., Bonnefous C., Darimont B., Scher H. I., Smith-Jones P., Klang M., Smith N. D., De Stanchina E., Wu N., Ouerfelli O., Rix P. J., Heyman R. A., Jung M. E., Sawyers C. L., Hager J. H.ARN-509: a novel antiandrogen for prostate cancer treatment. *Cancer Res*. 2012. Vol. 72. P. 1494-1503.

3. Cho S., Kim S.H., Shin D. Recent applications of hydantoin and thiohydantoin in medicinal chemistry. *Eur. J. Med. Chem*. 2019. Vol. 164. P. 517-545

Figg W.D., Cole K.A., Reed E., Steinberg S.M., Piscitelli S.C., Davis P.A., Soltis M.J., Jacob J., 4. Boudoulas S., Goldspiel B., et al. Pharmacokinetics of orally administered carboxyamido-triazole, an inhibitor of calcium-mediated signal transduction. *Clin. Cancer Res*. 1995. Vol. 8. P. 797-803.

5. Dheer D., Singh V., Shankar R. Medicinal attributes of 1,2,3-triazoles: Current developments. *Bioorg. Chem*. 2017. Vol. 71. P. 30-54.

6. Surendra Reddy G., Anebouselvy K., Ramachary D.B. [3+2]-Cycloaddition for Fully Decorated Vinyl-1,2,3-Triazoles: Design, Synthesis and Applications. *Chem. Asian J*. 2020. Vol. 15. Issue 19. 2960-2983.

ХІМІЧНІ, ФІЗИЧНІ ТА ФІЗИКО-ХІМІЧНІ МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ БУДОВИ (1-ПЕНТИЛ)ТРИФЕНІЛФОСФОНІЙ БРОМІДУ

Горобей Костянтин Миколайович
Здобувач вищої освіти IV курсу, grkosta30@gmail.com
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Листван Віталій Володимирович,
кандидат хімічних наук, доцент, listvan@ukr.net
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

У роботі [1] нами було проведено синтез (1-пентил)трифенілфосфоній броміду методом взаємодії третинних фосфінів (трифенілфосфін) з органічними галогенопохідними (1-бромопентан) [2] у бензені.

Як фізичний метод аналізу, ми обрали класичний варіант – визначення температури плавлення, яка була у межах, що зазначено в літературному джерелі [3] (164-166 ◦C).

В якості хімічних методів було обрано звичайне визначення бромід-аніону розчином арґентум (I) нітрату та проба Бейльштейна. Таким чином ми впевнились, що реакція відбулася.

Для встановлення будови (1-пентил)трифенілфосфоній броміду було вирішено провести ІЧ-спектроскопічне дослідження на спектрофотометрі з перетворенням Фур'є "AGILENT CARY 630" в спектральному діапазоні 400 – 4000 $см^{-1}$.

Виявлено, що смуги поглинання на 1120 та 1440 $см^{-1}$ відповідають симетричним валентним коливанням катіону фосфонію (P^+–C) [4].

Смуга на 790 $см^{-1}$ характерна для аніону броміду [5].

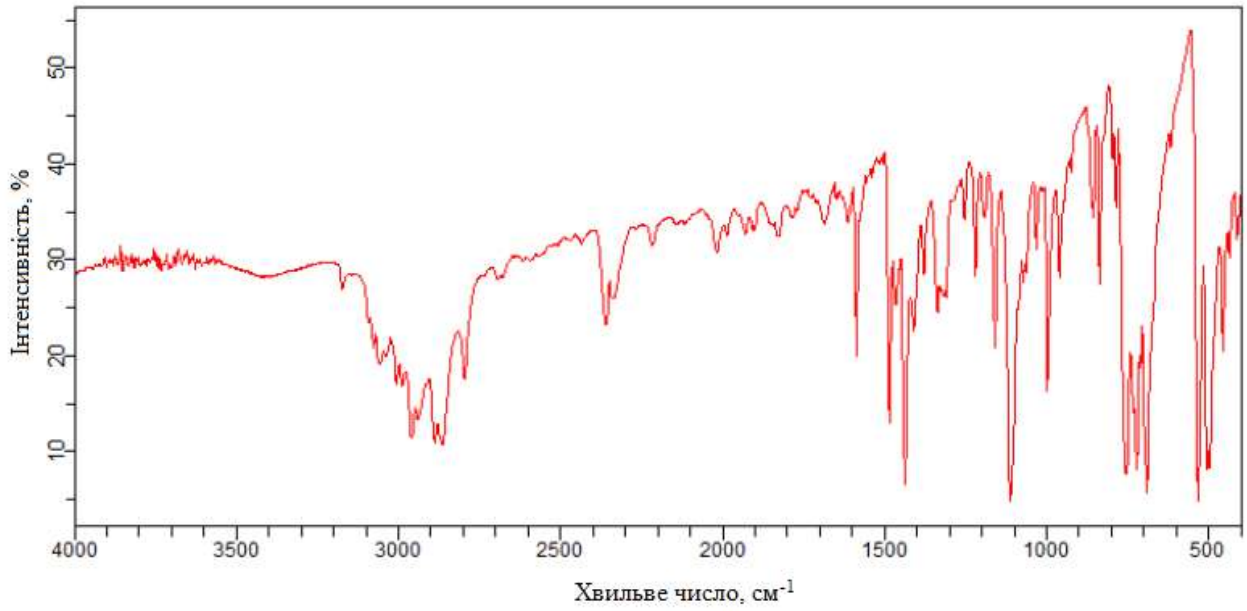


Рис. 1. ІЧ-Фур'є спектр (1-пентил)трифенілфосфоній броміду

Широка смуга в діапазоні 2800–3000 $см^{-1}$ відповідає валентним коливанням метильної групи (CH_3), пікове значення на 1320 $см^{-1}$ вказує на коливання радикала CH_2, а смуга на 700 $см^{-1}$ — на коливання зв'язку C–H у 1-пентильному радикалі. Смуги на 3010 $см^{-1}$, 1490 та 1600 $см^{-1}$ відповідають коливанням зв'язків C–H та C=C у фенільних радикалах. Наявність сигналу на 2360 $см^{-1}$ може свідчити про домішки трифенілфосфіну в отриманому продукті. [6]

1. Горобей К. М., Листван В. В.. Використання бензену в якості розчинника для синтезу (1-пентил)трифенілфосфоній броміду. IX Всеукраїнська наукова конференція «Актуальні задачі хімії: дослідження та перспективи» (9 квітня 2025 року). Матеріали конференції. Житомир: Житомирський державний університет імені Івана Франка, 2025. 347 с., іл.

2. УДК 547.588.1+547.241.. Листван В. М, Листван В. В., Малішевська А. В., Дейнека С. Є. ФОСФОНІЄВІ СОЛІ ЯК ПОТЕНЦІЙНІ АНТИМІКРОБНІ ЗАСОБИ

3. (1-pentyl)triphenylphosphonium bromide, 98%, Thermo Scientific Chemicals https://www.fishersci.at/shop/products/1-pentyl-triphenylphosphonium-bromide-98-thermo-scientific/11464204

4. Infrared absorption characteristics of alkyl and aryl substituted phosphonium salts G. WITSCHARD and C. E. GRIFFIN Department of Chemistry, University of Pit.tsburgh, Pit,tsbnrgh 13, Pennsylvania (Received 2 Muy 1963)

5. A. Richard Nyquist and O. Kagel Infrared Spectra of Inorganic Compounds. Chemikal Physics Research laboratory. New York and London. 1971

6. Organic Compounds FT-IR Spectroscopy Adina Elena Segneanu, Ioan Gozescu, Anamaria Dabici, Paula Sfirloaga and Zoltan Szabadai National Institute for Research and Development in Electrochemistry and Condensed Matter, Timisoara (INCEMC-Timisoara). Romania

АНТИБАКТЕРІАЛЬНА АКТИВНІСТЬ СОЛЕЙ ФОСФОНІЮ

Горобей Костянтин Миколайович
Здобувач вищої освіти IV курсу, grkosta30@gmail.com
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Євдоченко Олена Сергіївна
доктор філософії з галузі 01 Освіта/ Педагогіка,
доцент кафедри, lusichemis@gmail.com
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Листван Віталій Володимирович,
кандидат хімічних наук, доцент, listvan@ukr.net
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Від часу відкриття пеніциліну Александром Флемінгом та червоного стрептоциду Герхардом Домагком минуло майже століття. За цей період протимікробні засоби стали звичним елементом медичної практики. Сьогодні антибіотики призначаються у всьому світі для лікування більшості бактеріальних інфекцій. Водночас чимало людей, нехтуючи рекомендаціями лікарів і правилами застосування, використовують ці препарати неправильно. Унаслідок цього в бактерій формується стійкість до дії антибіотиків, яка значно ускладнює боротьбу з інфекційними хворобами. У пошуках ефективної альтернативи науковці звернули увагу на солі фосфонію, які проявляють виражену біологічну активність, зокрема антибактеріальну.

Численними дослідженнями, зокрема [1, 2], було встановлено, що четвертинні солі фосфонію (далі ЧСФ), які мають як малу молекулярну масу, так і полімери, можна використовувати у якості антибактеріальних фармакофорів та у поєднанні з гідрофобними лігандами для кращої доставки по організму.

У роботах [3, 4] полімери на основі ЧСФ демонструють чудову, порівняно з їх амонієвими аналогами, протимікробну активність. Дослідження [5] показали, що ЧСФ, особливо 5,6-біс[трифенілфосфоніо(метил)]-2,2,8-триметил-4H-[1,3]діоксино[4,5-c]піридину дихлорид, ефективні при боротьбі з Staphylococcus aureus та інших грам-позитивних бактерій; на грам-негативні бактерії вони впливають меншою мірою через особливості будови зовнішньої мембрани.

Найбільш поширеним механізмом дії ЧСФ є руйнування клітинної мембрани та порушення проникності [6, 7], але вони також можуть спричиняти колапс енергетичного метаболізму [8], підвищувати чутливість мікроорганізмів до антибіотиків [1, 9].

З огляду на вищесказане, можна сміло говорити, що солі фосфонію, за умови досконалого вивчення, – можуть бути ефективними ліками та конкурувати з класичними препаратами. Тому синтез нових солей є перспективним та практично корисним напрямком у сучасній органічній хімії та фармакології.

1. Nunes B, Cagide F, Fernandes C, Borges A, Borges F, Simões M. Efficacy of Novel Quaternary Ammonium and Phosphonium Salts Differing in Cation Type and Alkyl Chain Length against Antibiotic-Resistant *Staphylococcus aureus*. *International Journal of Molecular Sciences*. 2024. 25(1):504. https://doi.org/10.3390/ijms25010504

2. Qiqi Lei, Xuexu Lai, Yuwei Zhang, Zhou Li, Riwang Li, Wenning Zhang, Ningjian Ao, Hong Zhang. PEGylated Bis-Quaternary Triphenyl-Phosphonium Tosylate Allows for Balanced Antibacterial Activity and Cytotoxicity. *ACS Applied Bio Materials*. 2020. DOI: https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acsabm.0c00837

3. Lin Wang, Meihua Xin, Mingchun Li, Wenfeng Liu, Yangfan Mao. Effect of the structure of chitosan quaternary phosphonium salt and chitosan quaternary ammonium salt on the antibacterial

and antibiofilm activity. *International Journal of Biological Macromolecules*.2023. Vol. 242, Part 2. 124877, ISSN 0141-8130, https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.124877

4. Matan Nissim, Taly lline-Vul, Sivan Shoshani, Gila Jacobi, Eyal Malka, Aviv Dombrovsky, Ehud Banin, and Shlomo Marge. Synthesis and Characterization of Durable Antibiofilm and Antiviral Silane-Phosphonium Thin Coatings for Medical and Agricultural Applications. *ACS Omega*. 2023. 8. P. 39354−39365. https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acsomega.3c04908

5. Pugachev M. V., Shtyrlin N. V., Sysoeva L. P., Nikitina E. V., Abdullin T. I., Iksanova A. G., Ilaeva A. A., Musin R. Z., Berdnikov E. A., Shtyrlin YG. Synthesis and antibacterial activity of novel phosphonium salts on the basis of pyridoxine. *Bioorg Med Chem*. 2013. 21(14):4388-95. doi: 10.1016/j.bmc.2013.04.051. Epub 2013 Apr 29. PMID: 23683836

6. Shi L.W., Zhuang Q. Q., Wang T. Q., Jiang X. D., Liu Y., Deng J. W., Sun H. H., Li Y., Li H. H., Liu T. B., Liu J. Z. Synthetic Antibacterial Quaternary Phosphorus Salts Promote Methicillin-Resistant *Staphylococcus aureus*-Infected Wound Healing. *Int J Nanomedicine*. 2023. 18:1145-1158. doi: 10.2147/IJN.S398748.

7. Chavarria D., Borges A., Benfeito S., Sequeira L., Ribeiro M., Oliveira C., Borges F., Simões M., Cagide F. Phytochemicals and quaternary phosphonium ionic liquids: Connecting the dots to develop a new class of antimicrobial agents. *J Adv Res*. 2023. 54:251-269. doi: 10.1016/j.jare.2023.02.004.

8. Alfei S., Zuccari G., Bacchetti F., Torazza C., Milanese M., Siciliano C. Athanassopoulos C. M., Piatti G.; Schito A. M. Synthesized Bis-Triphenyl Phosphonium-Based Nano Vesicles Have Potent and Selective Antibacterial Effects on Several Clinically Relevant Superbugs. *Nanomaterials* 2024. 14. 1351.

9. Kang S., Sunwoo K., Jung Y., Hur J. K., Park K. H, Kim J. S, Kim D. Membrane-Targeting Triphenylphosphonium Functionalized Ciprofloxacin for Methicillin-Resistant Staphylococcus aureus (MRSA). *Antibiotics (Basel)*. 2020. 9(11):758. doi: 10.3390/antibiotics9110758.

ФУНКЦІАЛІЗОВАНІ ПОЛІМЕРИ В СУЧАСНОМУ ЗАСТОСУВАННІ НА ПРИКЛАДІ СТРУМОПРОВІДНИХ ПОЛІМЕРІВ

Довбня Андрій Іванович
Здобувач другого вищої освіти ІІ курсу, 13smg07@gmail.com
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Віленський Володимир Олексійович
професор, доктор хімічних наук, професор кафедри хімії,
volodymyr-vilensky@ukr.net
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

У сучасному світі полімери посідають одне з провідних місць серед матеріалів, що використовуються у промисловості, медицині, електроніці та побуті. Проте розвиток науки та техніки привів до появи нового класу речовин — так званих функціалізованих полімерів. Це полімерні матеріали, у структуру яких введені спеціальні функціональні групи або домішки, що надають їм нових властивостей — електропровідності, іонного обміну, біоактивності, фоточутливості, каталітичної активності тощо. Такі полімери вже не є просто «пластиками» у звичному розумінні, а стають високотехнологічними матеріалами, які здатні виконувати складні функції у різних сферах діяльності людини.

Одним із найцікавіших і найперспективніших напрямів розвитку функціалізованих полімерів є створення та використання струмопровідних полімерів. Ці матеріали здатні проводити електричний струм, хоча за своєю природою залишаються органічними сполуками. Їх відкриття стало справжнім проривом у матеріалознавстві, адже довгий час вважалося, що лише метали або неорганічні напівпровідники можуть мати електропровідність. Поява органічних провідників показала, що властивості полімерів можна радикально змінювати шляхом хімічного модифікування та контрольованої структурної організації.

Струмопровідні полімери, як правило, мають у своїй структурі кон’юговані системи подвійних зв’язків, які дозволяють електронам рухатися вздовж полімерного ланцюга. Хоча ці матеріали за своєю природою є органічними, вони здатні демонструвати властивості, подібні до металів чи напівпровідників. Це відкриває надзвичайно широкі можливості для їхнього практичного використання. Сьогодні такі полімери активно досліджуються і застосовуються у багатьох галузях науки й техніки, зокрема в електроніці, енергетиці, медицині та навіть у текстильній промисловості [1].

Однією з основних сфер застосування струмопровідних полімерів є електроніка**.** Вони використовуються для виготовлення гнучких екранів, сенсорів, світлодіодів, акумуляторів та конденсаторів. Завдяки своїй легкості, прозорості та гнучкості ці полімери ідеально підходять для створення так званої «м’якої електроніки» — пристроїв, що можна згинати, скручувати, інтегрувати у тканину або поверхню. Наприклад, на основі поліаніліну та полі(3,4-етилендіокситіофену) (PEDOT) створюють прозорі провідні покриття для сенсорних екранів, електродів і дисплеїв.

У сфері енергетики струмопровідні полімери застосовуються як матеріали для виготовлення тонкоплівкових сонячних батарей та елементів акумуляторів нового покоління. Вони дозволяють створювати легкі, гнучкі та відносно дешеві енергетичні пристрої, що можуть використовуватись у портативній техніці, «розумному» одязі або навіть у медичних імплантах [2]. На відміну від традиційних кремнієвих елементів, полімерні сонячні панелі можуть бути нанесені на різні поверхні, включно зі склом або пластиком, що значно розширює можливості їх практичного використання.

Не менш важливим напрямом є біомедицина. Струмопровідні полімери виявилися сумісними з живими тканинами, що робить їх цінними для створення електродів, сенсорів і стимуляторів, які взаємодіють з організмом. Наприклад, поліанілін або поліпірол застосовуються для виготовлення біоелектродів, що передають імпульси у нервові або м’язові

тканини, а також для розробки гнучких сенсорів, здатних вимірювати біоелектричну активність організму. Завдяки своїй біосумісності та можливості модифікації поверхні вони можуть зменшувати ризик відторгнення імплантатів.

Цікавою є також перспектива використання струмопровідних полімерів у розумному одязі та текстильній електроніці**.** Вони можуть бути вплетені у тканину або нанесені на неї у вигляді тонкого шару, створюючи електропровідні волокна. Такий одяг може виконувати функції сенсорів температури, вологості, серцевого ритму або руху, що особливо актуально для медицини, спорту чи військових технологій[1].

Окрім технічних переваг, струмопровідні полімери мають і екологічні переваги. На відміну від традиційних металевих провідників, вони легші, гнучкі, часто біорозкладні або придатні до переробки. Це дає можливість зменшити кількість відходів електроніки та створювати більш безпечні для довкілля матеріали.

У наукових дослідженнях велика увага приділяється також удосконаленню властивостей цих полімерів. Вчені працюють над підвищенням їхньої стабільності, провідності, механічної міцності та довговічності. Розробляються нові способи модифікації поверхні, введення наночастинок або композитних структур, що дозволяє отримувати матеріали з унікальними характеристиками [3].

Отже, функціалізовані полімери, зокрема струмопровідні, стали невід’ємною частиною сучасної науки та техніки. Вони поєднують у собі гнучкість органічних речовин і функціональні можливості неорганічних матеріалів, відкриваючи шлях до створення нових поколінь електронних, енергетичних і біомедичних технологій. Розвиток цього напрямку свідчить про те, що майбутнє за розумними, адаптивними і функціональними полімерними системами, які зможуть не лише проводити струм, а й взаємодіяти з навколишнім середовищем, реагуючи на потреби людини і суспільства.

1. Gayathri V., Khan T., Gowtham M., Balan R., Sebaey T., et al. Functionalized conductive polymer composites for tissue engineering and biomedical applications – a mini review. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*. 2025. Vol. 13. 1533944. DOI: 10.3389/fbioe.2025.1533944. https://www.frontiersin.org/journals/bioengineering-and-biotechnology/articles/10.3389/fbioe.2025.1533944/full?utm_source

2. Ding H., Hussein A. M., Ahmad I., Latef R., Abbas J. K., Abd Ali A. T., Saeed S. M., Abdulwahid A. S., Ramadan M. F., Rasool H. A., Elawady A. Conducting polymers in industry: A comprehensive review on the characterization, synthesis and application. *Alexandria Engineering Journal*. 2024. DOI: 10.1016/j.aej.2024.01.029.

3. Shahid M. A., Rahman M. M., Hossain M. T., Hossain I., Sheikh M. S., Rahman M. S., Uddin N., Donne S. W., Hoque,M. I. Advances in Conductive Polymer-Based Flexible Electronics for Multifunctional Applications. *Journal of Composites Science*. 2025. Vol. 9, No. 1. Article 42. DOI: 10.3390/jcs9010042. https://www.mdpi.com/2504-477X/9/1/42?utm_source

ЗРУЧНИЙ ВАРІАНТ СИНТЕЗУ С^5-МОНО(ГІДРОКСИМЕТИЛ)ІМІДАЗО[2,1-b]ТІАЗОЛІВ

Іванків Олександр Степанович,
здобувач вищої освіти IV курсу третього (освітньо-наукового) рівня,
ivankiv.oleksandr@vnu.edu.ua
Волинський національний університет імені Лесі Українки, Україна

Салієва Леся Миколаївна,
кандидат хімічних наук, доцент, saliieva.lesia@vnu.edu.ua
Волинський національний університет імені Лесі Українки, Україна

Сливка Наталія Юріївна,
доктор хімічних наук, професор, slivka.natalia@vnu.edu.ua
Волинський національний університет імені Лесі Українки, Україна

Марушко Лариса Петрівна,
доктор педагогічних наук, професор, marushko.larysa@vnu.edu.ua
Волинський національний університет імені Лесі Українки, Україна

В хімічному просторі конденсованих азотовмісних сполук важливе місце займають похідні привілейованої в медичній хімії імідазо[2,1-*b*]тіазольної системи, які характеризуються потужним спектром біологічної дії. Зокрема, імідазотіазольне ядро є ключовою субодиницею структури антигельмінтного та імуномоделюючого препарату Левімазол [1] та потенційного протиракового агента Квізартиніб, який продемонстрував хорошу активність при гострому мієлоїдному лейкозі [2]. Крім цього, імідазотіазольний мотив входить до складу анксиолітичного агента WAY-181187 (SAX-187) [3], антинеопластичного агента піфітрин-β [4] та модулятора сиртуїну SRT2140 [5].

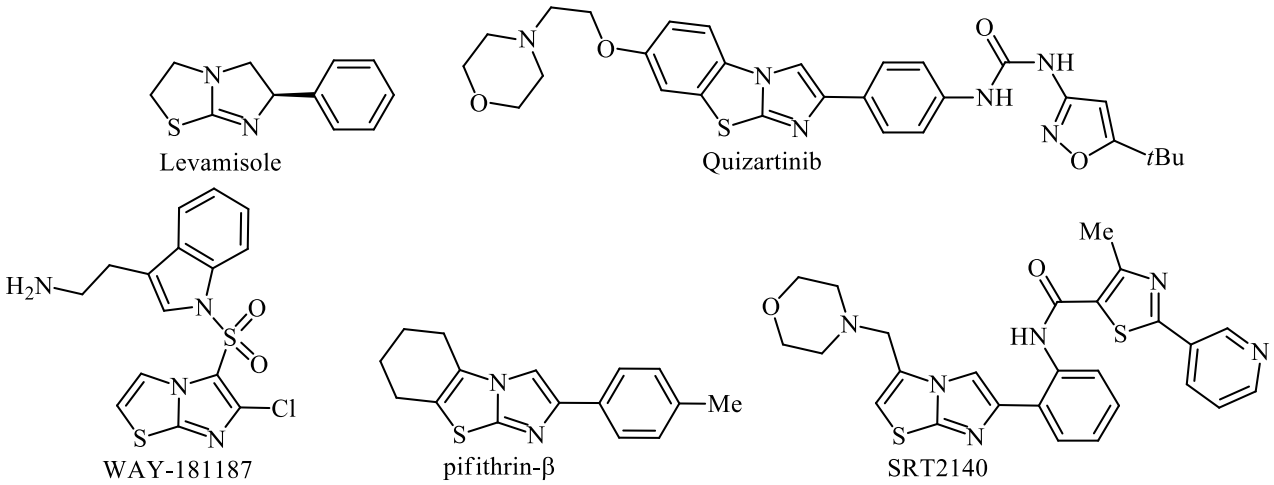


Рис. 1. Структури деяких біоактивних імідазо[2,1-*b*]тіазолів.

З огляду на зазначене вище, видавалося науково обґрунтованим поєднати синтетично доступний 2-метилімідазо[2,1-*b*]тіазол з ізатиновим ядром, яке відзначається антимікробною, просудомною, протизапальною та протитуберкольозною активностями [8].

Для реалізації поставленого завдання ми дослідили взаємодію 2-метил-2,3-дигідроімідазо[2,1-*b*]тіазол-5(6*H*)-ону **1** із низкою ізатинів **2** в умовах конденсації Кневенагеля. Експериментально встановлено, кип'ятіння реагентів в оцтовій кислоті у присутності безводного NaOAc привело до утворення альдолів – С^5-моно(гідроксиметил)-похідних імідазо[2,1-*b*]тіазолу **3**.

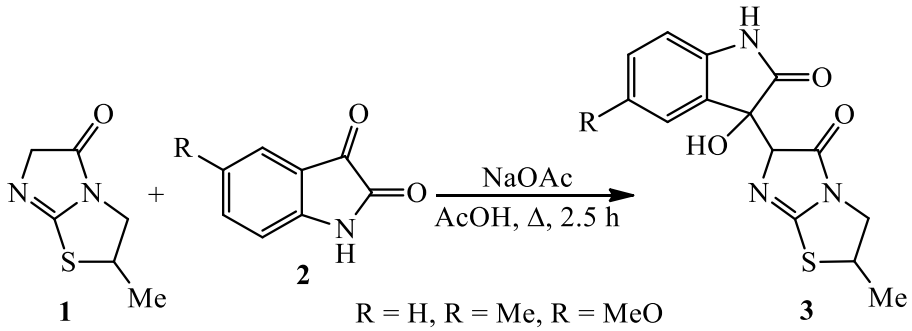


Схема 1. Синтез C^5-моно(гідроксиметил)імідазо[2,1-*b*]тіазолів **3.**

Склад та будову отриманих 6-(3-гідрокси-2-оксоіндолініл)-2-метил-імідазо[2,1-*b*]тіазолонів **3** було однозначно підтверджено комплексним фізико-хімічним аналізом, зокрема, даними ЯМР ^{1}H- та ^{13}C-спектроскопії та хроматомас-спектрометрії.

1. Amarouch H., Loiseau P. R., Bacha C., Caujolle R., Payard M., Loiseau P. M., Bories C., Gayral P. Imidazo[2,1-*b*]thiazoles: analogues du lévamisole. *Eur. J. Med. Chem*. 1987. Vol. 22. Issue 5. P. 463-466.

2. Montalban-Bravo G., Jabbour E., Chien K., Hammond D., Short N., Ravandi F., Konopleva M., Borthakur G., Daver N., Kanagal-Shammana R., Loghavi S., Qiao W., Huang X., Schneider H., Meyer M., Kantarjian H., Garcia-Manero G. Phase 1 study of azacitidine in combination with quizartinib in patients with FLT3 or CBL mutated MDS and MDS/MPN. *Leuk. Res.* 2024. Vol. 142. P. 107518.

3. Liu K.G., Robichaud A.J., Bernotas R.C., Yan Y., Lo J.R., Zhang M.Y., Hughes Z.A., Huselton C., Zhang G.M., Zhang J.Y., Kowal D.M., Smith D.L., Schechter L.E., Comery T.A. 5-Piperazinyl-3-sulfonylindazoles as potent and selective 5-hydroxytryptamine-6 antagonists. *J. Med. Chem.* 2010. Vol. 53. Issue 21. P. 7639-7646.

4. Da Pozzo E., La Pietra V., Cosimelli B., Da Settimo F., Giacomelli C., Marinelli L., Martini C., Novellino E., Taliani S., Greco G. p53 functional inhibitors behaving like pifithrin-β counteract the Alzheimer peptide non-β-amyloid component effects in human SH-SY5Y cells. *ACS Chem. Neurosci.* 2014. Vol. 5. Issue 5. P. 390-399.

5. Krueger J.G., Suárez-Fariñas M., Cueto I., Khacherian A., Matheson R., Parish L.C., Leonardi C., Shortino D., Gupta A., Haddad J., Vlasuk G.P., Jacobson E.W. A Randomized, Placebo-Controlled Study of SRT2104, a SIRT1 Activator, in Patients with Moderate to Severe Psoriasis. *PloS One*. 2015. Vol. 10. Issue 11. P. e0142081.

6. Kumar G., Singh N.P., Kumar K. Recent Advancement of Synthesis of Isatins as a Versatile Pharmacophore: A review. *Drug Res. (Stuttg)*. 2021. Vol. 71. Issue 3. P. 115-121

СИНТЕЗ НОВИХ ФЛУОРЕНІЛМЕТИЛОКСИКАРБОНІЛЬНО ЗАХИЩЕНИХ АМІНОВМІСНИХ СПОЛУК

Климук Максим Петрович,
здобувач вищої освіти VI курсу, Klymuk.Maksym2024@vnu.edu.ua
Волинський національний університет імені Лесі Українки, Україна

Дяченко Олександр Данилович,
кандидат хімічних наук, молодший науковий співробітник, diachenko.o@ukr.net
Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Україна

Сливка Наталія Юріївна,
доктор хімічних наук, професор, slivka.natalia@vnu.edu.ua
Волинський національний університет імені Лесі Українки, Україна

Реакії введенння флуоренілметилоксикарбонільної групи (Fmoc) до аміновмісних сполук є одним із провідних захистів у петридному та органічному синтезі. Завдяки м'яким умовам реакції та стабілільності Fmoc- групи до більшості кислот, а також у подальшому у простоті їх зняття за допомогою вторинних амінів (приклад піперидин), цей підхід використовується для синтезу пептидних, амінокислотних похідних [1].

Зараз широко розробляють низку модифікації класичному методу введення Fmoc-групи з використанням активованих естерів таких як Fmoc-Osu, що дозволяє ефективно захищати первинні і вторинні аміни, амінофеноли, аміноспирти та інші нуклеофіли. Такі реакії отримуються з високими виходами та селективністю, що робить їх придатними для синтезу як простих амінокислотних похідних, так і для більш складніших біоактивних сполук [2].

В даній роботі ми синтезували нову комерційну сполуку **3**, яку у подальшому буде використано у пептидному синтезі. Для цього ми використовувати (S)-3-аміно-3-(2-гідроксипіридин-4-іл)пропанову кислоту **1** та Fmoc-Osu **2** у водно-оргінічному середовищі (діоксан-вода), та використовували гідрокарбонат натрія для створення лужного середовища. В результаті чого отримували білу кристалічну речовину **3** (S)-3-((((9H-флуорен-9-іл)метокси)карбоніл)аміно)-3-(2-гідроксипіридин-4-іл)пропанову кислоту з чистотою 95%, яку пітвердили за допомогою ЯМР ^{1}H-, ^{13}C- та мас-спектрометрією.

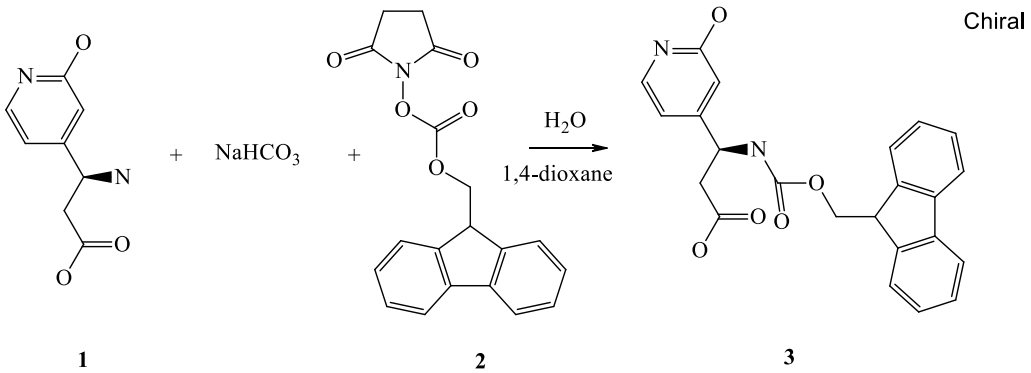


Рис 1. Схема синтезу (S)-3-((((9H-флуорен-9-іл)метокси)карбоніл)аміно)-3-(2-гідроксипіридин-4-іл)пропанової кислоти

Дослідження також свідчать, що нові Fmoc- похідні, шляхом варіювання нуклеофільного компонента, можуть проявляти певні властивості, зокрема змінювати реакційну здатніть, розчинність та придатність для подальшого їх використання у пептидному

синтезі. В свою чергу це відкриває перспективи для створення бібліотек сполук з їхньою потенційною фармакологічною активністю та розширює застосування Fmoc-похідних у комбінаторній хімії [3].

1. Ouyang Z. et al. Optimized syntheses of Fmoc azido amino acids for the preparation of azidopeptides. *J. Pept. Sci*. 2017. DOI: 10.1002/psc.2968.

2. Li J. et al. A Study on Synthesis and Gelation Capability of Fmoc and Boc Disubstituted Cyclo(L-Lys-L-Lys)s. *Chinese Journal of Organic Chemistry*. 2016. DOI: 10.6023/A15020111.

3. Gude B. K. H. S. S. S. J. C. K. et al. Synthesis of the very acid-sensitive Fmoc-Cys(Mmt)-OH and its application in solid-phase peptide synthesis. *J. Org. Chem*. 1996. DOI: 10.1021/jo00076a011.

ДОСЛІДЖЕННЯ ФІЗИКО-ХІМІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ТА ХАРЧОВОЇ ЦІННОСТІ ШОКОЛАДУ ВІТЧИЗНЯНОГО ВИРОБНИЦТВА

Криворучко Марія Володимирівна,
учениця 8-К класу, mariakryvoruchko12@gmail.com
Науковий ліцей №3 Полтавської міської ради,Україна

Шевченко Світлана Віталіївна,
вчитель хімії, спеціаліст вищої кваліфікаційної категорії,
вчитель-методист, s.v.shev0@gmail.com
Науковий ліцей №3 Полтавської міської ради

Шоколад належить до найпоширеніших і найулюбленіших харчових продуктів у світі. Він характеризується високою енергетичною, біологічною та фізіологічною цінністю, позитивно впливає на психоемоційний стан, когнітивну діяльність і функціонування серцево-судинної системи. Водночас зростання попиту на шоколадну продукцію спричинило поширення випадків її фальсифікації, що проявляється у частковій або повній заміні натурального какао-масла дешевшими жирами, внаслідок чого знижується якість і харчова цінність продукту.

Дослідження фізико-хімічних властивостей шоколаду вітчизняного виробництва є актуальним завданням, оскільки воно дає змогу оцінити автентичність продукції, її відповідність вимогам ДСТУ та визначити реальну харчову цінність. Отримані результати сприятимуть підвищенню рівня споживчої свідомості та усвідомленню важливості якісних харчових продуктів.

Метою роботи є вивчення фізико-хімічних показників якості та харчової цінності шоколаду українського виробництва, оцінювання їх відповідності чинним стандартам і виявлення можливих ознак фальсифікації.

Для досягнення поставленої мети визначено такі ***завдання дослідження:***

1. Проаналізувати науково-методичні джерела, присвячені складу, харчовій цінності та вимогам до якості шоколаду.
2. Ознайомитися з чинними нормативними документами (ДСТУ, директивами ЄС), що регламентують показники якості шоколадної продукції.
3. Визначити основні фізико-хімічні показники шоколаду українських торгових марок, зокрема температуру плавлення, масову частку вологи, жиру, цукру та наявність теоброміну.
4. Провести порівняльний аналіз отриманих результатів і сформулювати висновки щодо якості досліджених зразків.

Об'єкт дослідження – шоколад вітчизняного виробництва різних торгових марок.

Предмет дослідження – фізико-хімічні властивості та харчова цінність зразків шоколаду.

Дослідження проводилися на базі навчально-наукової лабораторії кафедри хімії та методики викладання хімії Полтавського національного педагогічного університету імені В. Г. Короленка протягом грудня – вересня 2024–2025 років.

Харчова цінність шоколаду визначається сукупністю властивостей, що зумовлюють його вплив на організм людини. Вона включає фізіологічну, органолептичну, біологічну та енергетичну складові, які взаємопов'язані між собою та залежать від якісного і кількісного складу інгредієнтів [2].

У межах експериментальної частини було досліджено сім зразків шоколаду українського виробництва:

1. «Корона» чорний шоколад;
2. «Milka» молочний шоколад;
3. «Roshen» молочний шоколад;
4. «Roshen» екстрачорний шоколад;

5. «Roshen Brut»;
6. «Millennium Brut» чорний шоколад;
7. «Roshen» пористий білий шоколад.

Досліджувані зразки репрезентують основні різновиди шоколаду – чорний, молочний та білий, що дало змогу здійснити порівняльний аналіз фізико-хімічних показників та вмісту біологічно активних компонентів.

У результаті експериментальних досліджень було встановлено такі закономірності:

- температура плавлення змінювалася від 27 °C (білий шоколад) до 32 °C (чорний шоколад), що свідчить про залежність цього показника від кількості какао-продуктів і використаних жирів;
- масова частка вологи у більшості зразків відповідала нормативним значенням (≤1,2 %), проте у молочних різновидах спостерігалося незначне перевищення через наявність молочних компонентів;
- показник заломлення жиру перевищував нормативний діапазон для натурального какао-масла (1,456–1,460), що вказує на ймовірне використання жирових замінників, зокрема пальмової олії або гідрогенізованих жирів;
- масова частка цукру варіювала у межах 40,6–58,5 %, залежно від виду шоколаду, що відображає рецептурні відмінності;
- теобромін виявлено у всіх зразках, окрім білого шоколаду, що підтверджує наявність какао-продуктів у складі та свідчить про натуральне походження сировини.

Порівняльний аналіз результатів показав, що найвищими якісними показниками характеризуються чорні сорти шоколаду («Roshen Brut», «Millennium Brut», «Корона», «Roshen» екстрачорний шоколад). Вони мають оптимальну температуру плавлення, низьку вологість, помірний вміст цукрів і високу концентрацію какао-продуктів, що забезпечує насичений смак і значну біологічну цінність. Молочні та білі сорти, своєю чергою, відзначаються підвищеним вмістом цукру та вологи, а також нижчою температурою плавлення, що обумовлено використанням молочних інгредієнтів і жирових замінників какао-масла.

1. Вироби кондитерські. Методи визначення цукрів: ДСТУ 5059:2008. К.: Держспоживстандарт України, 2010. 36 с.
2. ДСТУ 3924:2000. Шоколад. Загальні технічні умови. К.: Держспоживстандарт України, 2000. 24 с.
3. ДСТУ 4518:2008. Продукти харчові. Маркування для споживачів. К.: Держспоживстандарт України, 2008. 30 с.

ЙОДОЦИКЛІЗАЦІЯ 3-АЛІЛ-2-ЦИНАМІЛТІОХІНАЗОЛІН-4(3H)-ОНУ

Куля Діана Юріївна
здобувач вищої освіти магістерського рівня II курсу,kulia.diana@student.uzhnu.edu.ua
Ужгородський національний університет, Україна

Кут Діана Жолтівна
доктор філософії, старший науковий співробітник, diana.kut@uzhnu.edu.ua
Ужгородський національний університет, Україна

Онисько Михайло Юрійович
доктор хімічних наук, професор, mikhajlo.onysko@uzhnu.edu.ua
Ужгородський національний університет, Україна

Кут Микола Михайлович
кандидат хімічних наук, доцент, mykola.kut@uzhnu.edu.ua
Ужгородський національний університет, Україна

Конденсовані похідні хіназоліну є одними з перспективних сполук, що знайшли своє застосування в медицині, через прояв низки біологічних властивостей. Саме цей факт і спонукає до розробки нових методів синтезу подібних за будовою систем. Реакції внутрішньомолекулярної електрофільної гетероциклізації – перспективний, дієвий і добре відтворюваний метод, за допомогою якого можна отримати дані гетероцикли [1-7]. Відомо, що на перебіг реакцій внутрішньомолекулярної циклізації впливають такі фактори як: співвідношення реагентів, поляризація кратного зв'язку, природа нуклеофіла, електрофіла та полярність розчинника в якому проводять реакцію. Метою даного дослідження є вивчення регіоселективності та регіонапрямленості реакцій йоциклізації 3-аліл-2-цинамілтіохіназолін-4(3*H*)-ону під дією гібридних галогенів.

Об'єктом дослідження було взято цинамільний тіоетер **3**, в структурі якого містяться два ланцюги з кратними зв'язками та два нуклеофільні центри – атоми нітрогену та оксигену, які можуть брати участь в процесі циклізації. Вихідний тіоетер **3** отримують алкілуванням синтетично доступного тіону **2** (Схема 1) цинаміл хлоридом в спиртово-лужному середовищі протягом 12 годин (Схема 2).

Схема 1

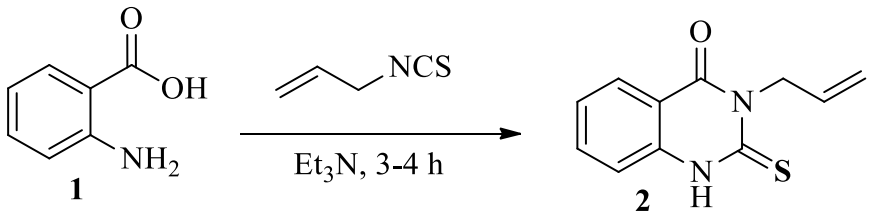
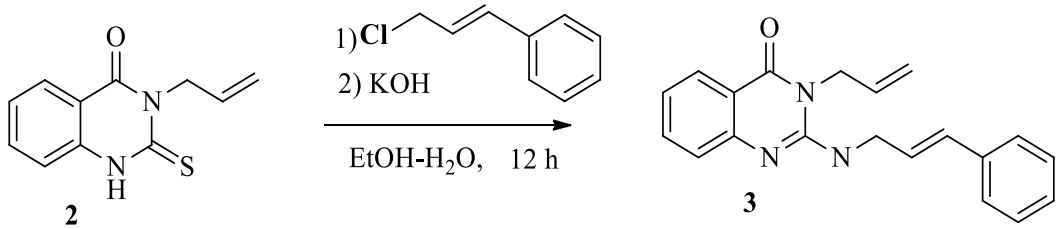


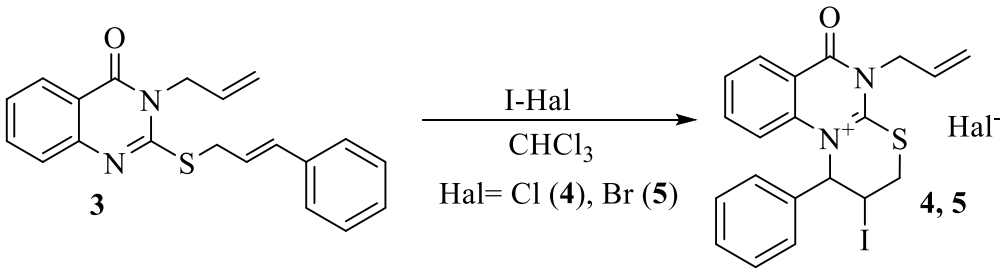
Схема 2



Виявлено, що результатом взаємодії цинамільного тіоетеру **3** з такими електрофілами як ICl та IBr є утворення моногалогенідів тіазинохіназолінію **4**, **5**, а гетероциклізація відбувається саме за участю атома нітрогену в першому положенні хіназоліну. Про залучення саме N^1 атома

свідчать дані ІЧ-спектроскопії, де наявні смуги поглинання карбонільних груп, які коливаються в межах 1711-1723 $см^{-1}$. Будову отриманих структур доведено спектрами ЯМР ^{1}H та ^{13}C, та хроматомасспектрометрією, а склад елементним аналізом.

Схема 3



Таким чином, у даному дослідженні встановлені закономірності перебігу реакцій електрофільної йодоциклізації 3-аліл-2-цинамілхіназолін-4-ону під дією гібридних галогенів, розроблено керований метод анелювання тіазиноваго циклу до остова хіназоліну.

1. Slivka M. V., Onysko M. Yu. The Use of Electrophilic Cyclization for the Preparation of Condensed Heterocycles. *Synthesis* 2021, *53* (19), 3497-3512.

2. Orysyk V. V., Zborovskii Yu. L., Staninets V. I., Dobosh A. A. Khripak S. M. Synthesis of Thiazino- and Thiazoloquinazolinones by Cyclization of S-(2-Propenyl) Derivatives of 2-Thioxo-2,3-dihydro-4(1H)-quinazolinone. *Chem. Heterocycl. Compd*. 2003, 39 (5), P. 640 – 644. https://doi.org/10.1023/A:1025154317771

3. Chern J.-W., Tao P.-L., Wang K.-C., Gutcait A., Liu, Sh.-W., Yen M.-H., Chien Sh.-L., Rong J.-K. Studies on Quinazolines and 1,2,4-Benzothiadiazine 1,1-Dioxides. 8. Synthesis and Pharmacological Evaluation of Tricyclic Fused Quinazolines and 1,2,4-Benzothiadiazine 1,1-Dioxides as Potential α_1-Adrenoceptor Antagonists. *J. Med. Chem*. 1998, *41* (17), P. 3128 – 3141. https://doi.org/10.1021/jm970159v

4. Kut M. M., Onysko M. Yu., Lendel V.G. Investigation of interaction of 2-S-alkenyl derivative quinasolone aryltellurium trichlorides. *Sci. Bull. Uzhh. Univ. Ser. Chem.* 2019*, 41* (1)*,* P. 86-89. https://doi.org/10.24144/2414-0260.2019.1.86-89

5. Kut M. M., Onysko M. Yu., Lendel V. G. The Influence of Condensed Cycle on Regiochemistry of Electrophilic Heterocyclization of 3-Alkenyl-2-Thioxopyrimidin-4-One by p-Alkoxyphenyltellurium Trichloride. *J. Heterocycl. Chem.* 2018, *55* (4), P. 888-892. https://doi.org/10.1002/jhet.3114

6. Галега О. В., Повідайчик М. В., Свалявин О. В., Остапчук Є. М., Онисько М. Ю. Синтез та перетворення солей тіазинобензотіазлію. *Питання хімії та хімічної технології*. 2023, No. 2, P. 61-66.

7. Sidat P. S., Jaber T. M. K., Vekariya S. R., Mogal A. M., Patel A. M., & Noolvi M. Anticancer Biological Profile of Some Heterocylic Moieties-Thiadiazole, Benzimidazole, Quinazoline, and Pyrimidine. *Pharmacophore*. 2022. 13(4). P. 59-71. Doi:51847/rT6VE6gESu

ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ ЛАКТОЗИ У ФАРМАЦІЇ

Курило Зоряна Олегівна
здобувач вищої освіти ІІІ курсу, kurylozoriana@gmail.com
Тернопільський національний медичний університет імені І.Я. Горбачевського МОЗ України, Україна

Панишева Оксана Володимирівна
доктор фармацевтичних наук, доцент, провідний інженер-технолог,
oksanatryhubchak@gmail.com
АТ «Фармак», Україна

Лактоза (4-O-β-D-галактопіранозіл-D-глюкоза, лактобіоза, таблетоза, молочний цукор) належить до групи складних вуглеводів – дисахаридів. Утворена залишками D-галактози та D-глюкози, існує у вигляді α- і β-форм. Лактоза – тверда біла речовина з кристалічною структурою. Емпірична формула $C_{12}H_{22}O_{11}$. Молекулярна маса 360,31 г/моль. Молярна маса – 342,2965±0,0144 г/моль, густина – 1,525 г/см³. Термовластивості: t плавлення – 202,8 °C, t кипіння – 668,9 °C. Розчинення у воді відбувається у співвідношенні 21,6 г/100 мл.

Лактоза – це природний цукор, який присутній тільки в молоці й молочних продуктах. Вперше була виділена на початку XVII століття італійським експериментатором Ф.Бартолетті. Назву «молочний цукор» запропонував шведський вчений-хімік – Шеєле в 1780 р., який, крім того, включив її в ряд вуглеводів під традиційною сьогодні назвою – «лактоза».

Молочний цукор широко застосовується у фармацевтичній промисловості. У виробництві лікарських препаратів лактозу використовують як наповнювач і в якості покриття для таблеток. Завдяки хімічній інертності, вона не взаємодіє з діючими речовинами лікарських препаратів, забезпечуючи їх стабільність, а також захищає або підвищує біологічну доступність препарату. Лактоза входить до складу приблизно 60-70 % усіх фармацевтичних лікарських форм: капсул, таблеток, сиропів. А близько 45 % препаратів містять комбінацію лактози та мікрокристалічної целюлози. Крім того, у виробництві шипучих таблеток лактозу використовують як коригент смаку.

У 50 % опрацьованих найменувань ЛЗ як наповнювач використовують лактозу моногідрат. Проте через недостатню текучість порошку та/або властивості ущільнення вона може не підходити для постійного використання без модифікації.

Таблетозу використовують у медицині в складі більшості медпрепаратів для лікування і підтримки в нормальному стані шлунково-кишкового тракту (Но-шпа, Лопедіум, Церукал тощо), протизаплідних засобів, при виготовленні пеніциліну. Часто вона виступає допоміжним компонентом (наповнювачем) у фармацевтиці.

Лактози моногідрат 231 (ARMOR PHARMA™, lactose monohydrate 231) виробника Armor Proteines SAS являє собою тонкоподрібнений порошок моногідрату α-лактози. Продукт поєднує у собі хороші властивості ущільнення та змішування. Ця лактоза в основному використовується для виготовлення таблеток за технологією вологого та сухого гранулювання. Гігроскопічність моногідрату α-лактози дуже низька, що забезпечує високу стабільність при зберіганні її як речовини самостійно, так і в складі готових лікарських форм. Основні переваги: стисливість, властивості змішування, стабільність при зберіганні. Галузі застосування: волога грануляція, суха грануляція, суміші / премікси, процеси ферментації.

Доступний також інший різновид – ARMOR PHARMA™ Lactose monohydrate 100M від виробника Armor Proteines S.A.S. з розміром часток 100 меш. Завдяки оптимальній гранулометрії, лактоза моногідрат 100M забезпечує гарну сипучість та рівномірне змішування з активними інгредієнтами. Тому вона працює найкраще в таких лікарських формах, як капсули, саше, та премікси.

Для прямого пресування таблеток вивчили комбіновані ДР, які отримані на основі модифікацій лактози, цукрів та інших інгредієнтів - Ludipress LCE, Ludipress, Ludiflash,

StarLac, F-MELT, Cellactose 80, Compri Sugar®. Особливістю поведінки вказаних ДР є те, що при їх використанні потрібно здійснювати підбір раціональних супутніх ДР, які би зменшували силу виштовхування таблеток з матриці. У більшості випадків це 3-4-компонентна система різних ДР.

Використання наповнювачів, таких як Sorb-Cel, дозволяє уникнути зважування і змішування окремих компонентів, що прискорює виробництво шипучих складів. Наприклад Sorb-Cel R (манітол, повідон, лимонна кислота моногідрат і натрію карбонат, лактоза) застосовується для отримання шипучих таблеток і порошків.

Таким чином, лактоза є багатофункціональною допоміжною речовиною у виробництві більшості сучасних лікарських засобів. Вона забезпечує належні технологічні властивості, підвищує стабільність і біологічну доступність препаратів, а розвиток її модифікованих форм розширює можливості застосування у створенні лікарських препаратів.

1.Shi C, Zhao H, Fang Y, Shen L, Zhao L. Lactose in tablets: Functionality, critical material attributes, applications, modifications and co-processed excipients. *Drug Discov Today*. 2023 Sep;28(9):103696. https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/37419210/

2. Chuting Shi, Ying Fang, Zhenda Liu, Youjie Wang, Lan Shen, Lijie Zhao. Effect of Moisture Sorption and Lactose Type on Tablet Quality: A Hygroscopicity Study between Lactose Powder and Tablets. *Mol. Pharmaceutics*. 2024. Vol 22, Issue 1. P. 544-557 https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.molpharmaceut.4c01164

3. Sai Liu, Simon Gaisford, Gareth R. Williams. Ciprofloxacin-Loaded Spray-Dried Lactose Particles: Formulation Optimization and Antibacterial Efficacy. *Pharmaceutics*. 2025. 17 (3), 392. https://doi.org/10.3390/pharmaceutics17030392

4. Ankita S. Burande, Shrushti P. Dhakare, Ayusha O. Dondulkar, Tilottama M. Gatkine, Deepti O. Bhagchandani, Minal S. Sonule, Vinod M. Thakare, Satyendra K. Prasad. A review on the role of co-processed excipients in tablet formulations. *Hybrid Advances*. 2024. Vol. 7. 100299 https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2773207X2400160X?via%3Dihub

5. Baldaev A. E., Vaitman V. V., Shopina Y. G., Kedik S. A., Panov A. V. Comparison of granulated lactose properties produced by various wet granulation methods without the use of binders. *Drug Dev. Regist*. 2025, https://doi.org/10.33380/2305-2066-2025-14-2-1784. https://www.scilit.com/publications/a6835873233bd72259feed572c72871f

6. Co-processed excipients: Recent advances and future perspective. *Journal of Drug Delivery Science and Technology*. 2022. 71(5–6):103316. DOI:10.1016/j.jddst.2022.103316. https://www.researchgate.net/publication/359769576_Co-processed_excipients_Recent_advances_and_future_perspective

СИНТЕЗ 3-ЗАМІЩЕНИХ (Z)-5-(2-ОКСО-2-АРИЛЕТИЛІДЕН)-2-ТІОКСОІМІДАЗОЛІДИН-4-ОНІВ

Мудрак Олег Андрійович,
здобувач ІІ курсу другого (магістерського) рівня вищої освіти,
Волинський національний університет імені Лесі Українки, Україна

Салієва Леся Миколаївна,
кандидат хімічних наук, доцент, saliieva.lesia@vnu.edu.ua
Волинський національний університет імені Лесі Українки, Україна

Сливка Наталія Юріївна,
доктор хімічних наук, професор,
Волинський національний університет імені Лесі Українки, Україна

Впродовж двох останніх десятиліть функціоналізовані 2-тіоксоімідазолідин-4-они (2-тіогідантоїни) привертають підвищеною увагу науковців як синтетично та біологічно привабливі гетероциклічні системи, що обумовлено відкриттям у їх ряду протиракових препаратів ензалутамід [1] та апалутамід [2] (рис. 1).

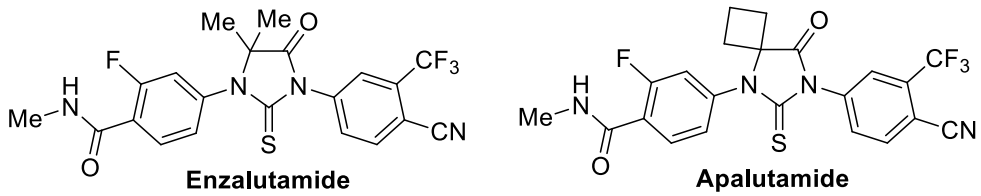


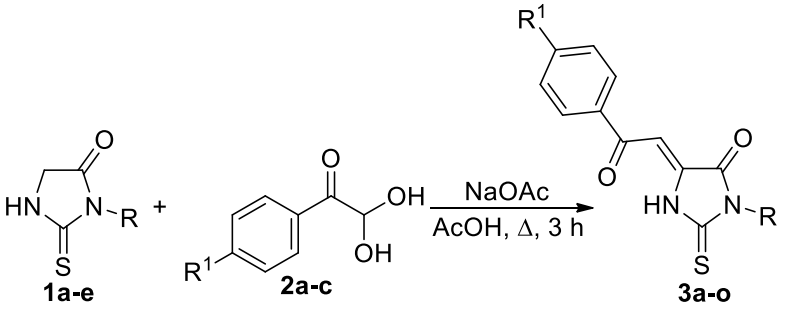
Рис. 1. Препарати на основі 2-тіогідантоїну для лікування раку передміхурової залози.

Чільне місце серед наявних комбінаторних бібліотек біоактивних речовин займають 5-арилідензаміщені 2-тіогідантоїни, які характеризуються антипроліферативною, протималярійною, антибактеріальною та протигрибковою активностями. Крім того, 5-(гет)ариліден-2-тіоксоімідазолідин-4-они зарекомедували себе як потенційні інгібітри тирозинази, ізоцитратдегідрогенази IDH1 (R132H), ДНК-топоізомерази, НАДФН-оксидази та діаденозинмонофосфат синтетази (c-di-AMP). Багатообіцяючий профіль біологічної активності функціоналізованих 2-тіогідантоїнів сприяв активним дослідження цього типу гетероциклів як потенційних сполук для створення лікарських засобів [3-5].

Конденсація Кневенагеля впродовж останнього століття [6] залишається однією із найважливіших реакцій в органічному синтезі та зручним інструментом структурної модифікації різнотипових, в тому числі і гетероциклічних сполук. Крім того, вона забезпечує легкий та економічно ефективний доступ до біоактивних молекул, що обумовило її широке використання в наукових та промислових масштабах.

Аналіз літературних джерел засвідчив, що найпоширенішим варіантом спрямованої структурної модифікації 2-тіогідантоїнового ядра є конденсації із аліфатичними, ароматичними або гетероароматичними карбонільними сполуками з отриманням 5-іліден- або 5-арилідензаміщених похідних відповідно [7]. З огляду на зазначене, видавалося науково обґрунтованим дослідити взаємодію 2-тіоксоімідазолідин-4-онів із структурно складнішими карбонільними компонентами, представленими, зокрема, арилгліоксалями.

Для реалізації поставленого завдання модельними об'єктами обрано низку синтетично доступних 3-заміщених 2-тіогідантоїнів **1a-e**, CH_2-групу яких використано як метиленову складову у конденсації Кневенагеля. Експериментально встановлено, що їх кип'ятіння із арилгліоксалями **2a-c** у системі NaOAc-AcOH впродовж 3 год приводить до цільових сполук **3a-o** із виходами 47-81% (схема 1).



1 a R = *i*Pr; **b** R = allyl; **c** R = Bn; **d** R = Ph; **e** R = 4-ClC$_6$H$_4$

2 a R^1 = H; **b** R^1 = Me; **c** R^1 = F

Схема 1. Синтез 3-заміщених (*Z*)-5-(2-оксо-2-арилетиліден)-2-тіогідантоїнів **3a-o.**

Склад та будову 3-заміщених (*Z*)-5-(2-оксо-2-арилетиліден)-2-тіоксоімідазолідин-4-онів **3a-o** надійно доведено комплексним фізико-хімічним аналізом, зокрема, ЯМР ^{1}H, ^{13}C та хроматомас-спектрами, а також даними елементного аналізу. Варто зазначити, що похідні **3** утворюються стереоселективно у вигляді *Z*-ізомерів, що підтверджується положенням синглета протона групи –CH= ароїлетиліденового фрагмента в діапазоні 6.82-6.98 м.ч. та узгоджується із даними для структурних аналогів [8]. Така структура цільових продуктів найвірогідніше стабілізується можливістю утворення внутрішньомолекулярного водневого зв'язку =O···H-N<, що підтверджується суттєвим зміщенням сигналів N-H протонів в область слабкого поля (12.15-12.54 м.ч.).

Таким чином, нами показано, що конденсація Кневенагеля є зручним та ефективним інструментом модифікації тіогідантоїнового ядра фармакормними угрупуваннями.

1. McCutcheon S. B. Enzalutamide: a new agent for the prostate cancer treatment armamentarium. *J. Adv. Pract. Oncol.* 2013. Vol. 4. P. 182-185.

2. Clegg N. J., Wongvipat J., Joseph J. D., Tran C., Ouk S., Dilhas A., Chen Y., Grillot K., Bischoff E. D., Cai L., Aparicio A., Dorow S., Arora V., Shao G., Qian J., Zhao H., Yang G., Cao C., Sensintaffar J., Wasielewska T., Herbert M. R., Bonnefous C., Darimont B., Scher H. I., Smith-Jones P., Klang M., Smith N. D., De Stanchina E., Wu N., Ouerfelli O., Rix P. J., Heyman R. A., Jung M. E., Sawyers C. L., Hager J. H.ARN-509: a novel antiandrogen for prostate cancer treatment. *Cancer Res*. 2012. Vol. 72. P. 1494-1503.

3. Elhady H. A., Mohamed S. M., Alshareef H., El-Mekawy R. Synthesis, Reactions and Applications of 2-Thiohydantoin. *Acta Pol. Pharm. Drug Res.* 2019. Vol. 76. P. 971-986.

4. Cho S., Kim S. H., Shin D. Recent applications of hydantoin and thiohydantoin in medicinal chemistry. *Eur. J. Med. Chem*. 2019. Vol. 164. P. 517-545.

5. Mezoughi A. B., Abdussalam-Mohammed W., Ettarhouni Z. O. Recent Biological Applications and Chemical Synthesis of Thiohydantoins. *J. Chem. Rev.* 2021. Vol. 1. P. 196-218.

6. Knoevenagel E. Condensation von Malonsäure mit aromatischen Aldehyden durch Ammoniak und Amine. *Ber. Dtsch. Chem. Ges.* 1898. Vol. 31. P. 2596-2619.

7. Brian T., Gregg B. T., Golden K. C., Quinn J. F., Tymoshenko D. O., Earley W. G., Maynard D. A., Razzano D. A., Rennells W. M., Butcher J. Expedient Lewis Acid Catalyzed Synthesis of a 3-Substituted 5-Arylidene-1-methyl-2-thiohydantoin Library. *J. Comb. Chem.* 2007. Vol. 9. P. 1036-1040.

8. El-Aasar N. K., Saied K. F. Synthesis of new thiazolidine and imidazolidine derivatives of pharmacological interest. *J. Heterocyclic Chem*. 2008. Vol. 45. P. 645-652.

ВПЛИВ ЕКСТРАКТІВ ЛІКАРСЬКИХ РОСЛИН НА БІОАКТИВНІ ВЛАСТИВОСТІ КОМПОЗИТІВ НА ОСНОВІ ГІДРОКСИАПАТИТУ

Радченко Анастасія Едуардівна,
здобувач вищої освіти VI курсу, ПХ.м-41, кафедра ТПХ, radchenko220303@gmail.com
Сумський Державний Університет, Україна

Большаніна Світлана Борисівна,
кандидат хімічних наук, доцент, кафедра ТПХ, s.bolshanina@chem.sumdu.edu.ua
Сумський Державний Університет, Україна

У сучасних дослідженнях у галузі біоматеріалів все більшу увагу приділяють створенню композитів із тривалою антимікробною та остеогенною дією. Одним із найбільш перспективних матеріалів вважається гідроксиапатит (HA), який є біосумісним і за складом наближений до мінеральної частини кісткової тканини. Модифікація HA біоактивними екстрактами з лікарських рослин дає змогу підвищити його регенераційні властивості, що особливо актуально для тканинної інженерії та імплантології.

Метою дослідження було зібрати дані про вплив біоактивних сполук із екстракту гранату (Punica granatum) на остеогенез і біоактивність матеріалів на основі HA, а також провести експериментальні випробування композитів HA–NpAg з екстрактом гранату для визначення наявності біологічно активних речовин.

В екстракті гранату виявлено поліфеноли, флавоноїди, таніни, сапоніни, алкалоїди та інші антиоксиданти, що мають антиоксидантні, протизапальні, антимікробні та регенераційні властивості. Поліфеноли сприяють розмноженню остеобластів і знижують активність остеокластів, що покращує мінералізацію кісткової тканини. Флавоноїди активують сигнальні шляхи, які регулюють остеогенез, а також мають естрогеноподібну дію, корисну для профілактики остеопорозу. Танінові сполуки впливають на клітинну сигналізацію, захищають остеобласти від апоптозу, але у надлишковій кількості можуть знижувати біодоступність кальцію.

Випробування композитів на основі HA–NpAg з екстрактом гранату та живокосту проводили для визначення груп біологічно активних речовин методом кольорових тестів [1]. Композити, що містили 25 мкг/г наночастинок срібла (NpAg) та 30 мг/г екстракти рослин, витримували у стандартному розчині SBF протягом трьох діб при постійній температурі. Як імітаційне середовище використовували SBF, склад якого наближений до плазми крові людини, що дозволяє відтворити умови біоінтеграції матеріалу.

Після експозиції зразки центрифугували (5000 об/хв, 5 хв), а отримані фільтрати піддавали хімічним реакціям для ідентифікації біоактивних речовин:

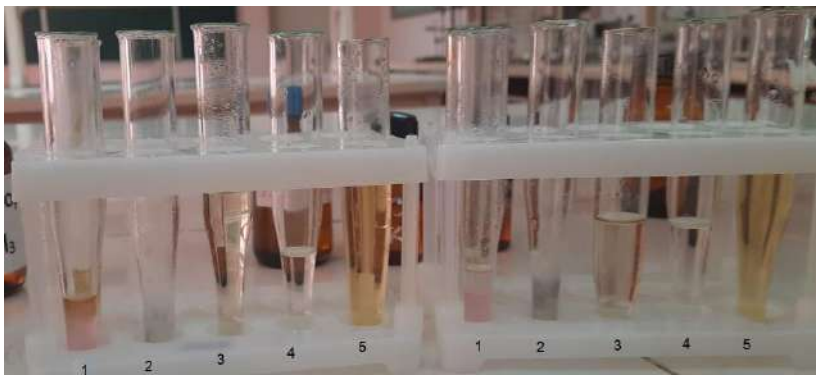
– алкалоїди визначали реактивом Вагнера (коричневе забарвлення);

– флавоноїди – у присутності магнію та концентрованої HCl (жовтий або оранжевий колір);

– стероїди/тритерпеноїди – реакцією з H_2SO_4 і оцтовою кислотою (синє або зелене забарвлення);

– сапоніни – за наявністю стійкої піни після додавання HCl;

– дубильні речовини – реакцією з 1% $FeCl_3$ (зеленувато-коричневий колір).[4]



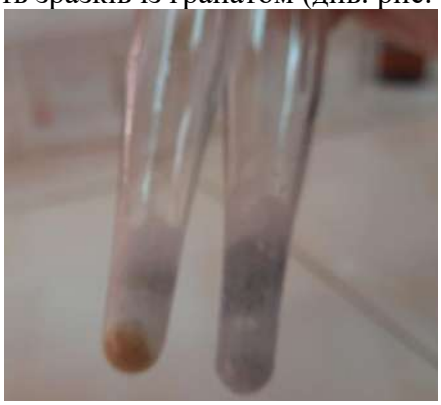
Випробування композитів з екстрактом гранату

Випробування композитів з екстрактом живокосту

1 – алкалоїди, 2 – флавоноїди, 3 – стероїди, 4 – сапоніни, 5 – дубильні речовини

Рис. 1. Якісні реакції композитів на основі НА–NpAg з екстрактом гранатута живокосту на наявність біологічно активних речовин.

Якісні реакції показали, що композити з екстрактом гранату мають позитивні результати на алкалоїди та флавоноїди, що свідчить про наявність у структурі композиту біологічно активних компонентів з антимікробною дією. Порівняння з композитами, модифікованими екстрактом живокосту, показало, що останні не демонструють позитивних реакцій на алкалоїди та флавоноїди, що вказує на вищу біоактивність зразків із гранатом (див. рис. 1).



Проба на **алкалоїди**:
ліворуч – композит з екстрактом гранату;
праворуч -живокосту

Проба на **флавоноїди**:
ліворуч – композит з екстрактом гранату;
праворуч - живокосту

Рис. 2. Проби в яких виявлені відмінності в якісних реакцій на біологічно активні речовини в композитах, що містять екстракти гранату і живокосту.

Якісні реакції на стероїди (зразки №3 Рис.1) і сапоніни (зразки №4 Рис.1) не показали їх присутності в достатній для визначення кількості. Також не можна впевнено стверджувати наявність дубильних речовин (зразки №5 Рис.1)

Таким чином, модифікація НА наночастинками срібла та екстрактом гранату сприяє створенню біоактивних матеріалів із пролонгованою антимікробною дією та потенціалом для використання у регенеративній медицині й стоматології.

1. Фармакогнозія з основами фітокосметики. Методи фармакогностичного аналізу. Первинні метаболіти. Терпеноїди. Кардіостероїди. Конспект лекцій для студентів / уклад. С. Д. Тржецинський та ін. Запоріжжя : ЗДМУ, 2021. 135 с.

2. Ковальов В. М., Марчишин С. М., Хворост О. П. та ін. Практикум з ідентифікації лікарської рослинної сировини : навч. посіб. Тернопіль : ТДМУ, 2014. 264 с.

3.Фармакогнозія. Частина 3. Первинні метаболіти / за ред. В. М. Ковальова. Харків : НФаУ, 2016. 178 с.

4. T I Aprillia et al 2023 IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 1273 012034DOI 10.1088/1755-1315/1273/1/012034

ФОРМУВАННЯ ДВОКОМПОНЕНТНИХ НАНОФІБРИЛ ІЗ ПОЛІМОЛОЧНОЇ КИСЛОТИ ТА ХІТОЗАНУ МЕТОДОМ ЕЛЕКТРОСПІНІНГУ

Радченко Олександра Ігорівна,
здобувач вищої освіти ІІ курсу магістратури, azdhfkv@gmail.com
Сумський державний університет, Україна

Пономарьова Людмила Миколаїна,
кандидат технічних наук, доцент, l.ponomarova@chem.sumdu.edu.ua
Сумський державний університет, Україна

Технологія електроспінінгу, як простий і недорогий метод отримання мікро- та нанополімерних волокон, стрімко набуває популярності. Вона базується на використанні електростатичних сил: під дією високої напруги полімерний розчин витягується з кінчика голки, формуючи тонкий струмінь, який твердне у волокно. Завдяки простоті, універсальності та низькій вартості метод застосовується у виробництві захисного одягу, електроніки, косметичних матеріалів, адсорбентів та елементів відновлюваної енергетики. Особливого значення електроспінінг набув у біомедичній сфері — для створення біосумісних каркасів і мембран, що імітують позаклітинний матрикс. Зростає інтерес до двокомпонентних систем, які поєднують природні й синтетичні полімери, оптимізуючи фізико-хімічні та біологічні властивості волокон [1, 2].

Одним із найефективніших прикладів є поєднання хітозану з полімолочною кислотою (PLA), що об’єднує біосумісність і антибактеріальні властивості хітозану з механічною міцністю та технологічною зручністю PLA. Такі композити перспективні для тканинної інженерії, створення біорозкладних імплантатів і мембран для очищення [3].

Полімолочна кислота (PLA, або полілактид) — перспективний біополімер завдяки поєднанню біосумісності, біорозкладності, нетоксичності та добрих механічних властивостей. Як термопластичний поліестер, PLA стабільна під час експлуатації й розкладається шляхом гідролізу. Виробляється з відновлюваної сировини — молочної кислоти, отриманої ферментацією цукрів, що робить її екологічною альтернативою нафтохімічним полімером. Мембрани на основі PLA, отримані методом електроспінінгу, мають високу пористість і подібність до позаклітинного матриксу, що робить їх придатними для біомедичних застосувань [3, 4].

Хітозан (Ch) — природний полімер, отриманий деацетилюванням хітину, вирізняється біосумісністю, біорозкладністю та антибактеріальністю. Завдяки аміногрупам і гідроксильним функціям він проявляє високу біоактивність і використовується у фармацевтичній, біомедичній та екологічній галузях [5].

Електроспінінг дозволяє отримувати двокомпонентні мембрани на основі хітозану та PLA, які поєднують біосумісність, механічну стабільність і низьку токсичність. Завдяки синергії природного й синтетичного компонентів вони сприяють адгезії клітин і знижують ризик інфекцій [6]. Для підвищення функціональності до складу додають активні речовини — антибактеріальні агенти, наночастинки або біоактивні сполуки, що покращують гідрофільність і біоактивність матеріалу.

Ще одним перспективним природним полімером є гіалуронова кислота (ГА) — лінійний полісахарид, що складається з повторюваних дисахаридних ланок, які формуються з двох моносахаридних залишків: N-ацетил-β-D-глюкозаміну та β-D-глюкуронової кислоти. Ці залишки з'єднані між собою черговими β-(1→3) і β-(1→4) глікозидними зв’язками. Як компонент позаклітинного матриксу, вона сприяє адгезії та регенерації клітин. Завдяки біосумісності, біорозкладності й високій вологоутримуючій здатності ГА широко використовується у тканинній інженерії. Через низьку механічну стабільність її поєднують із хітозаном, що підвищує міцність і додає антибактеріальні властивості. Композити ГА/Ch

поєднують гідрофільність, біоактивність і стабільність, тому застосовуються для загоєння ран, у регенераційних біоматеріалах і системах контрольованого вивільнення препаратів.

У цій роботі запропоновано поєднання механічної міцності полімолочної кислоти (PLA) з антибактеріальними та біоактивними властивостями хітозану й гіалуронової кислоти. Формування двошарових мембран здійснювали методом послідовного електроспінінгу — технології, за якої різні полімерні розчини наносяться по черзі через одну голку, утворюючи багатошарову волокнисту структуру з контрольованою товщиною та орієнтацією кожного шару. Спочатку здійснювали електроспінінг шару PLA, після чого нашаровували суміш хітозану та гіалуронової кислоти.

Оскільки ні хітозан, ні гіалуронова кислота у чистому вигляді не придатні для електроспінінгу через їх високу в'язкість, поліелектролітну природу та низьку розчинність у летких органічних розчинниках, до розчину було додано поліетиленоксид (PEO) — водорозчинний, біосумісний і нетоксичний синтетичний полімер. Його введення покращує реологічні властивості суміші, забезпечує формування безперервного полімерного струменя та сприяє утворенню рівномірних нанофібрил під час процесу електроспінінгу (Таблиця 1).

Таблиця 1. Співвідношення полімеру та використовувані розчинники

Номер шару	**Полімер**	**Розчинники**
1	10% PLA	Хлороформ та Диметилформамід
2	3% Поліетиленоксид	50% Оцтова кислота
	2% Хітозан	50% Оцтова кислота
	1% Гіалуронова кислота	50% Оцтова кислота

Для проведення дослідження використовували установку для електроспінінгу Linari RT Advanced. Як резервуар для полімерних розчинів застосовували скляний шприц об'ємом 10 мл із металевою голкою внутрішнім діаметром 1 мм. У ролі колектора використовували алюмінієвий циліндр, покритий операційною серветкою з нетканого матеріалу. Процес електроспінінгу здійснювали за стабільних температури та вологості, тривалістю 60 хвилин для кожного зразка розчину.

У результаті проведеного дослідження методом послідовного електроспінінгу було успішно отримано двошарову мембрану на основі полімолочної кислоти, хітозану та гіалуронової кислоти з додаванням поліетиленоксиду. Отримана мембрана характеризується рівномірною гладкою поверхнею, добрими механічними властивостями та вираженою гідрофільністю, що свідчить про перспективність такої композиції для біомедичних застосувань. Подальший, більш детальний структурно-фізико-хімічний та біологічний аналіз мембрани буде розглянуто в наступних етапах роботи.

1. Islam M. S. Et al. A review on fabrication of nanofibers via electrospinning and their applications. *Discover applied sciences*. 2019. Vol. 1. 1248.

2. Lee J., & Chen Y. Polymer-based composites by electrospinning: Preparation and functionalization with nanocarbons. *Progress in Polymer Science*. 2018. Vol. 86. P. 40-84.

3. Maleki H., Azimi B., Ismaeilimoghaddam S., Danti S. Poly(lactic acid) - based electrospun fibrous structures for biomedical applications. *Applied Sciences*. 2022. Vol. 12, № 6.

4. Davachi S. M., Kaffashi B. Polylactic Acid in Medicine. *Polymer-Plastics Technology and Engineering*. 2015. Vol. 54, № 9. P. 944-967.

5. Wang J., Zhuang S. Chitosan-based materials: Preparation, modification and application. *Journal of Cleaner Production*. 2022. Vol. 355.

6. Hardiansyah, A., Tanadi, C., & Gunawan, Y. I. Electrospinning and antibacterial activity of chitosan-blended poly(lactic acid) nanofibers. *Journal of Polymer Research*. 2015. Vol. 22.

7. Bazmande A. Z., Mirzaei E., Ghasemi Y., Jadidi Kouhbanani M. A. Hyaluronic acid coated electrospun chitosan-based nanofibers prepared by simultaneous stabilizing and coating. *International Journal of Biological Macromolecules.* 2019. Vol. 138. P. 403-411.

СИНТЕЗ НОВИХ N-ЗАМІЩЕНИХ-9H-ПУРИН-6-АМІНІВ

Сергієнко Юрій Михайлович,
здобувач вищої освіти VI курсу, Serhiienko.Yurii2024@vnu.edu.ua
Волинський національний університет імені Лесі Українки, Україна

Корній Юрій Євгенович,
молодший науковий співробітник, кандидат хімічних наук, y.kornii@enamine.net
Інститут біоорганічної хімії та нафтохімії ім. В. П. Кухаря НАН Україниии

Сливка Наталія Юріївна,
доктор хімічних наук, професор, slivka.natalia@vnu.edu.ua .
Волинський національний університет імені Лесі Українки, Україна

Цитокініни — це клас фітогормонів 6-амінопуринового ряду, що регулюють ріст та розвиток рослин, стимулюють поділ клітин та уповільнюють старіння листя[1]. Похідні пурину проявляють протипухлинну, антигрибкову, протимікробну, протизапальну активності [2], тому є важливим отримання нових похідних 6-аміно-9H-пурину.

Протягом останнього часу, актуальним є синтез похідних 3-трифлуорометилдіазиринів, що зумовлює активний розвиток хімії цього класу сполук. Після опромінення ультрафіолетовим світлом діазирини утворюють реакційноздатні карбени, що можуть взаємодіяти зі зв'язками C–H, N–H та O–H. Завдяки цій властивості діазирини стали популярними низькомолекулярними фоточутливими „зшиваючими" реагентами. Вони часто використовуються в новітніх дослідженнях з маркуванням та для спостереження за різними взаємодіями у різних біологічних системах [3, 4]. Ми вирішили синтезувати нові похідні цитокінінів з трифлуорометилдіазериною міткою та їх аналоги, для порівняння їх активності.

Відомо, що зручним та ефективним методом отримання нових N-заміщених-9H-пурин-6-амінів є реакція нуклеофільного заміщення атома галогену в 6-галогенопурині, яка вирізняється з інших методів отримання цитокінів, легкістю постановки синтезу, дешевизною вихідних сполук та доволі високими виходами цільового продукту[5].

Реакцією нуклеофільного заміщення 6-хлоропурину **1** з відповідними амінами **2a-f**, отримали сполуки **3a-f.**

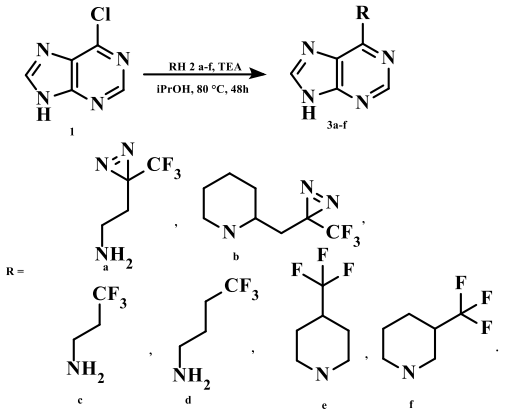


Рис 1. Схема синтезу сполук **3a-f**

Структуру індивідуально виділених сполук досліджено з використанням ЯМР ^{1}H-, ^{13}C-, ^{19}F- та мас-спектрометрії

1. Campbell NA, Reece JB, Urry LA, Cain ML, Wasserman SA, Minorsky PV, Jackson RB (2008). *Biology* (8th ed.). San Francisco: Pearson, Benjamin Cummings. P. 827–830. ISBN 978-0-555-03883-3.

2. Gurnani M. R., Lokapure M. V., Hiwarale D. S. K. Biological activities of purine analogues:

a review. *Der Pharmacia Lettre*. 2015. Vol. 7, Iss. 10. P. 215–224.

3. Dubinsky L., Krom B.P., Meijler M.M. Diazirine based photoaffinity labeling. *Bioorg. & Med. Chem.* 2012. 20, №2. P. 554–570.

4. Sinz A. Investigation of protein-ligand interactions by mass spectrometry. *ChemMedChem*. 2007. 2, №4. P. 425–431.

5. Voller J., Zahajská L., Plíhalová L. et al. 6-Substituted purines as ROCK inhibitors with anti-metastatic activity. *Bioorganic Chemistry*. 2019. Vol. 90. Art. no. 103005. DOI: 10.1016/j.bioorg.2019.103005.

ВПЛИВ РІЗНИХ ЧИННИКІВ НА ЦУКРИСТІСТЬ БУРЯКІВ

Таран Каріна Дмитрівна,
учениця 10-Л класу, karinaukrgirl@gmail.com
Науковий ліцей №3 Полтавської міської ради,Україна

Шевченко Світлана Віталіївна,
вчитель хімії, спеціаліст вищої кваліфікаційної категорії,
вчитель-методист, s.v.shev0@gmail.com
Науковий ліцей №3 Полтавської міської ради

Цукор — основа консервної, кондитерської, хлібопекарської промисловості, виробництва вина, слабоалкогольних та безалкогольних напоїв, соків тощо. Зрозуміло, що самозабезпечення України власним продуктом - завдання номер один.

Сировиною для виробництва цукру в Україні є цукровий буряк, рідше-цукрова тростина. Технологічним показником якості коренеплодів є постійне збільшення цукристості, тому вивчення факторів, що пливають на збільшення даного показника, є досить актуальними.

Метою роботи є дослідження механізмів біохімічних процесів, дії різних чинників на показник цукристості буряка.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні *завдання*:

- узагальнити дані наукової літератури про бурякову сировину, її вуглеводний склад та фактори впливу на ріст і розвиток коренеплоду;
- встановити експериментальним шляхом якісний склад вуглеводів цукрового буряка;
- визначити кількісний вміст сахарози в сировині;
- дослідження особливості впливу різних чинників на цукристість буряка;
- розробити практичні рекомендації за оптимального внесення додаткових добрив для підвищення врожайності цукрового буряка та максимальної його цукристості.

Об'єкт дослідження: сировина цукрового буряка.

Предмет дослідження: цукристість буряка.

Дослідження, що стосуються практичної частини нашої роботи, проводилося в навчально-науковій лабораторії загальної біотехнології Полтавського державного аграрного університету та лабораторії підприємства «Глобинський цукровий завод» протягом жовтня 2025 року. Сировиною для проведення дослідження є витяжка з власноруч вирощених буряків на присадибній ділянці с. Гожули Полтавської ОТГ. Урожай зібрано в кінці вересня 2025 року. Буряки вирощували за допомогою удобрення грунту перегноєм та комбінованими мінеральними добривами.

В умовах господарств, де проводились дані досліди, на присадибній ділянці у с. Гожули Полтавської ОТГ, для вирощування цукрових буряків використовувалися такі добрива як: $N_{180}P_{135}K_{210}$, $N_{240}P_{180}K_{280}$, $N_{300}P_{225}K_{350}$ та органічні добрива(перегній) - контрольна ділянка. Найвищий ефект від застосування добрив спостерігається за достатнього рівня зволоження, коли поживні речовини перебувають у формі, доступній для рослин. Проведені дослідження протягом 2025 року, засвідчили, що підвищення рівня удобрення від мінімального до оптимального зумовлює зростання врожайності коренеплодів у 2,5–3,5 раза.

Так, на контрольному варіанті (добрення ділянки перегноєм), урожайність становила 24,5 т/га, тоді як за внесення $N_{180}P_{135}K_{210}$ вона досягла 55,5 т/га, а за $N_{240}P_{180}K_{280}$ — 70,8 т/га Максимальна продуктивність зафіксована на варіанті $N_{300}P_{225}K_{350}$, де врожайність склала 84,7 т/га, що перевищує контрольний рівень на 60,2 т/га. Отримані результати підтверджують, що раціональна система мінерального живлення забезпечує суттєве підвищення як урожайності, так і цукристості коренеплодів цукрового буряку.

Правильне внесення добрив — це ключ не лише до великого врожаю, а й до його високої якості**.** Добрива допомагають рослинам виробляти більше білків, крохмалю, цукру та інших корисних речовин: чим більше мінеральних добрив вносити, тим вищий урожай коренеплодів,

але тим менше в них цукру.

Найвищим вміст цукру (19,6%), як і очікувалось, був з використанням добрив $N_{300}P_{225}K_{350}$, проте цукристість була також доволі високою на контрольній ділянці, що свідчить про доцільність внесення органічних добрив для її покращення.

Отже, високі норми внесення мінеральних добрив забезпечили найвищий вихід цукру з гектара.

- На контрольних ділянках було отримано лише 8,61 т/га цукру.
- Внесення добрив за схемою $N_{180}P_{135}K_{210}$ дало 10,35 т/га цукру.
- Найвищий результат — 12,75 т/га цукру — був досягнутий за внесення $N_{300}P_{225}K_{350}$.

Таким чином, загальна кількість цукру, отримана з одиниці площі, значно зростає завдяки високій урожайності, що є ключовим показником економічної ефективності.

На основі проведених досліджень можемо зробити наступні висновки:

- Проведено детальний аналіз наукових джерел з метою вивчення характеристик цукру, що виробляється з цукрового буряка та факторів, що впливають на його цукристість.
- Визначено якісний і кількісний вміст вуглеводів у буряковій сировині (може бути рекомендованим для постійного моніторингу цукристості буряків).
- Проведено експериментальні дослідження впливу факторів на підвищення урожайності цукрового буряка.
- Розроблено практичні рекомендації щодо дозованого внесення добрив у оптимальних співвідношеннях.
- Розраховано економічну ефективність внесення різних доз мінеральних добрив під цукровий буряк.
- Проведено статистичну обробка результатів експериментів.
- Проведено інформаційні та рекомендаційні бесіди про закономірності коливань показника цукристості під впливом певних чинників.

1. Аскаров В. Р. Вплив мікродобрив і фунгіцидів на урожайність та якість буряків цукрових. Збірник наукових праць ННЦ «Інститут землеробства НААН». 2016. Вип. 2. С. 89–95.

2. Борисюк В. С., Бомба М. І. Вплив рівнів удобрення на ріст і розвиток рослин цукрових буряків. Вісник Львівського національного аграрного університету: агрономія. 2012. № 16. С. 536–540.

3. Крикунова В.Ю., Кулинич С.М.,Самойлік М.С., Колєснікова Л.А., Петренко М.О., Міщенко О.В. Навчальний посібник «Основи біохімії та особливості обміну речовин»- Полтава , 2019. 223 с.

ПРАКТИЧНЕ ЗАСТОСУВАННЯ ОРГАНІЧНИХ РОЗЧИННИКІВ

Шаран Тетяна Олександрівна
здобувач вищої освіти 4 курсу tillajti8@gmail.com
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Листван Віталій Володимирович
доцент, кандидат хімічних наук, listvan@ukr.net
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Органічні розчинники – це леткі сполуки, що мають у своєму складі Карбон, зазвичай представлені похідними вуглеводнів, спиртів, кетонів, естерів або ароматичних сполук. Залежно від своєї полярності чи не полярності вони здатні розчиняти ті чи інші органічні речовини. Їх застосування обумовлене хімічною взаємодією між молекулами розчинника та розчинюваної речовини, яка зумовлена силами Ван дер Ваальса, водневими зв'язками та диполь-дипольними взаємодіями. Серед найбільш поширених органічних розчинників виділяються етанол (C_2H_5OH), ацетон (CH_3COCH_3), етилацетат ($CH_3COOC_2H_5$), бензен (C_6H_6), толуен ($C_6H_5CH_3$) і хлороформ ($CHCl_3$).

У промисловості ці сполуки знаходять широке застосування в таких галузях, як лакофарбова, фарбова, поліграфічна, фармацевтична, косметична та хімічна. Наприклад, етанол використовують для виготовлення настоянок і дезінфекційних розчинів, ацетон застосовують як очищувач і реагент у виробництві полімерів, а бензен і толуен слугують сировиною для створення пластмас і барвників.

З точки зору хімії, органічні розчинники відіграють ключову роль у таких процесах, як екстракція, рекристалізація, полімеризація, нуклеофільне заміщення та естерифікація. Вони впливають на швидкість і перебіг хімічних реакцій завдяки зміні характеристик середовища. Проте їхня здатність до швидкого випаровування та утворення токсичних сполук, наприклад фосгену з хлороформу під впливом світла, вимагає особливої обережності та дотримання суворих правил безпеки в роботі.

1.Органічні розчинники та їх застосування. Промислова сировина. URL: https://tov-srp.com/organicheskie-rastvoriteli-i-ih-primenenie/

2. Основні властивості та сфери застосування розчинників. URL: https://tophim.com.ua/ua/osnovni-vlastyvosti-ta-sfery-rozchynnykiv/

СЕКЦІЯ 4:

Фізична хімія та хімічна технологія

РОЗРОБЛЕННЯ НОВИХ ТИПІВ БІТУМНИХ РУЛОННИХ ПОКРІВЕЛЬ

Александров Дмитро Юрійович,
аспірант ІІІ курсу, pavlo.o.nimets@lpnu.ua
Національний університет «Львівська політехніка», Україна

Гринишин Олег Богданович,
доктор технічних наук, професор, oleh.b.hrynyshyn@lpnu.ua
Національний університет «Львівська політехніка», Україна

Бітумні м'які покрівельні системи набули широкого поширення як ефективний засіб захисту дахів житлових, громадських і промислових будівель від дії атмосферних чинників. За статистичними даними, понад 80% покрівельних покриттів на таких об'єктах виготовлені із застосуванням гнучких матеріалів на бітумній основі [1]. Одним із найактуальніших напрямів розвитку в цій сфері є створення покрівельних матеріалів, що монтуються без попереднього нагрівання – так званих систем холодного нанесення. Їхньою основною перевагою є відсутність потреби в термічній обробці, яка властива традиційним рулонним матеріалам [2]. Сучасні ізоляційно-покрівельні матеріали холодного способу нанесення, як правило, являють собою композит, у структурі якого використовується армувальна основа (найчастіше скловолокно), просочена бітумним в'яжучим [3]. Зовнішній шар може бути покритий металевою фольгою, а внутрішній, клейовий – захищений знімною поліетиленовою плівкою, яку прибирають безпосередньо перед монтажем. Після цього матеріал щільно притискають до підготовленої поверхні та розгладжують валиком для забезпечення рівномірного прилягання. Раніше пропонувалися бітумні композиції, що складалися з бітуму марки БН-70/30, лляної олії та каучуку типу СБС або гумової крихти [4]. Проте лляна олія є досить коштовною та обмежено доступною сировиною. Тому в даній роботі було поставлено завдання розробити подібну за властивостями композицію з використанням більш економічної ріпакової олії.

Під час створення матеріалів, призначених для монтажу без нагрівання, ключовим завданням є досягнення оптимального балансу експлуатаційних властивостей. Особлива увага приділяється поєднанню достатньої адгезійної здатності (липкості) з еластичністю при низьких температурах, а також забезпеченню теплостійкості та механічної стабільності. З цією метою було досліджено властивості двокомпонентних систем, утворених шляхом поєднання нафтового будівельного бітуму марки БН 70/30 із ріпаковою олією (РО). Варто підкреслити, що ріпакова олія, на відміну від деяких інших рослинних аналогів, не належить до висихаючих олій, що визначає специфіку її взаємодії з бітумним в'яжучим. Попередній аналіз наукових джерел і експериментальні дані свідчать, що ріпакова олія є перспективним модифікатором завдяки своїй доступності та особливому жирнокислотному складу.

За результатами аналізу властивостей бінарних систем типу «бітум - ріпакова олія» встановлено, що використання лише цих двох компонентів не дозволяє забезпечити повний комплекс необхідних характеристик, притаманних високоякісним покрівельним матеріалам. Для покращення експлуатаційних властивостей такої композиції доцільним є введення додаткової третьої складової, здатної підвищити твердість і температуру розм'якшення бітумного зразка, водночас покращуючи його еластичність і морозостійкість без погіршення інших параметрів. Відомо, що подібного ефекту можна досягти шляхом модифікування бітумів еластомерами, зокрема стирол-бутадієн-стирольними (СБС) каучуками або подрібненою гумою. Виходячи з цього, подальші дослідження були спрямовані на оцінку характеристик трикомпонентних систем, що містять бітум марки БН 70/30, ріпакову олію та гумову крихту (ГК) у різних співвідношеннях.

Проведені експерименти показали, що збільшення кількості гумової крихти суттєво впливає на показники трикомпонентної композиції: спостерігається підвищення температури розм'якшення, покращення теплостійкості та еластичності матеріалу. Водночас зменшується

пенетрація, а адгезія до твердих поверхонь дещо погіршується.

Для визначення оптимального складу системи «бітум - ріпакова олія - гумова крихта» було проведено процедуру оптимізації. Результати показали, що підвищення вмісту гумової крихти при одночасному зменшенні кількості ріпакової олії призводить до зростання температури розм'якшення. Зі зменшенням частки олії та збільшенням кількості ГК у суміші спостерігається також зниження пенетрації. Дуктильність композиції зростає при збільшенні вмісту ріпакової олії, тоді як максимальні показники еластичності досягаються за умов найбільшої кількості гумової крихти та мінімальної частки олії. При підвищенні вмісту ріпакової олії еластичність матеріалу зменшується. Гнучкість при температурі –25 °С зберігається за умови, що вміст ріпакової олії перевищує 15 % мас., а кількість гумової крихти не перевищує 12,5 % мас. Теплостійкість системи підвищується зі збільшенням кількості ГК у складі та зменшенням частки олії. Водночас додавання гумової крихти у всіх випадках знижує адгезію матеріалу. Після аналізу отриманих даних визначено оптимальне співвідношення компонентів, яке забезпечує досягнення нормативних показників якості бітумного матеріалу холодного нанесення. Зокрема, оптимальний склад становить: бітум БН 70/30 – 78,4 % мас., ріпакова олія – 11,8 % мас., гумова крихта – 9,8 % мас. Характеристики отриманої композиції наведено в таблиці 1.

Таблиця 1. Характеристика бітумної композиції «бітум : ріпакова олія : ГК» для покрівельного матеріалу холодного нанесення

Показник	Значення показника	Вимоги до бітумного матеріалу
Температура розм'якшення, ^{o}C	70	не менше 70
Дуктильність при 25 ^{o}C см	8,6	–
Пенетрація при 25 ^{o}C, 0,1 мм	44,0	–
Еластичність, %	51,0	–
Гнучкість на брусі при -25 ^{o}C	витримує	витримує
Теплостійкість при 60 ^{o}C	витримує	витримує
Адгезія, Н/см^2	4,1	не менше 3,0
Водопоглинання, %	0,18	–

На основі аналізу отриманих даних щодо впливу складу на властивості трикомпонентних систем було створено новий різновид бітумної композиції, призначений для виробництва покрівельних матеріалів холодного способу нанесення. Розроблена композиція, що містить гумову крихту як модифікуючу добавку, повністю відповідає встановленим вимогам до покрівельних матеріалів цього типу. Завдяки підвищеній температурі розм'якшення отримані матеріали характеризуються підвищеною термостійкістю та зберігають свої експлуатаційні властивості навіть за умов підвищених температур, що особливо важливо для використання в регіонах із жарким кліматом.

1. Пат. 74761 Україна, МПК D06N 5/00, B32B 11/04, E01D 19/08, E04D 5/10, C08L 95/00. Рулонний гідроізоляційний матеріал «СПОЛІМОСТ» / Сімінчук С.В., Скакун А. В.; заявник і патентовласник АП «Славутський руберойдовий завод». №a200509056. опубл. 16.01.2006.

2. Nagurskyy Andriy, Khlibyshyn Yuriy, Grynyshyn Oleg. Bitumen compositions for cold applied roofing products. *Chemistry & Chemical Technology*. 2017. Vol.11, №2. P. 226-229.

3. Нагурський А. О., Гринишин О. Б., Хлібишин Ю. Я. Бітумні композиції для покрівельних матеріалів з використанням гумової крихти. *Нафтогазова галузь України*. 2017. №4. С.34-37.

4. Nagurskyy Andriy, Grynyshyn Oleg, Khlibyshyn Yuriy, Korchak Bohdan. Use of Rubber Crumb Obtained from Waste Car Tires for the Production of Road Bitumen and Roofing Materials from Residues of Ukrainian Oil Processing. *Chemistry&Chemical Technology*. Vol.17. №3. 2023. P.674-680.

ФІЗИКО-ХІМІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ФЕРИТІВ ЗІ СТРУКТУРОЮ ШПІНЕЛІ

Артемчук Тетяна Сергіївна,
здобувач другого (магістерського) рівня вищої освіти І курсу chem@ukr.net
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Камінський Олександр Миколайович,
кандидат хімічних наук, доцент, alexkamin@ukr.net
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Тітов Юрій Олександрович,
доктор хімічних наук, професор, chem@ukr.net
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Денисюк Роман Олександрович,
кандидат хімічних наук, доцент, chem@ukr.net
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Ходюк Олександр Васильович,
асистент кафедри хімії chem@ukr.net
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Ферити, які вирізняються своїми специфічними магнітними, структурними та електричними характеристиками, викликають значний науковий і практичний інтерес у різних галузях досліджень та промисловості. Так, у оглядовій статті [1] представлено комплексний аналіз впливу легування цинком трьох відомих феритових сполук: $MnFe_2O_4$, $CuFe_2O_4$ та $CaFe_2O_4$. Легування цинком розглядається як ефективний підхід до цілеспрямованої модифікації властивостей цих матеріалів, що відкриває перспективи для підвищення їх функціональних можливостей та розширення сфери застосування.

Огляд охоплює основні методи синтезу, зокрема співосадження, золь-гель, гідротермальний і твердофазний підходи, а також подає докладний аналіз структурних та фізико-хімічних особливостей наноферитів. Подальші розділи зосереджуються на характеристиках окремих феритів, зокрема їхній магнітній поведінці, кристалічній структурі та електричних властивостях. Окрему увагу приділено методам дослідження структурних, магнітних і діелектричних параметрів.

Вплив легування цинком на властивості феритів $MnFe_2O_4$, $CuFe_2O_4$ і $CaFe_2O_4$ розглянуто всебічно. Завершальна частина огляду присвячена сучасним напрямам практичного застосування шпінельних феритів, зокрема у фотолюмінесцентних системах, біомедичних технологіях і сенсорних пристроях [1].

На рис. 1. показано методи синтезу феритів та їх використання для біомедичних цілей.

У оглядовій статті [2] увагу авторами зосереджено на синтезі, характеристиці та застосуванні шпінельних феритів у різних галузях, зокрема шпінельних феритів з легуванням. Наночастинки шпінельних феритів, леговані цими елементами, мають чудові електричні та магнітні властивості, що дозволяє використовувати їх у широкому спектрі застосувань, таких як магнітні поля, поглиначі мікрохвиль та біомедицина. Крім того, фізичні властивості шпінельних феритів можна модифікувати шляхом заміщення атомів металів, що призводить до покращення продуктивності. У цьому огляді розглянуто та обговорено найновіші та найвизначніші застосування магнітних феритових наночастинок. У цьому огляді розглядається синтез, легування та застосування різних типів наночастинок металевих феритів, а також висловлюються погляди на те, як вибрати відповідні магнітні ферити залежно від передбачуваного застосування.

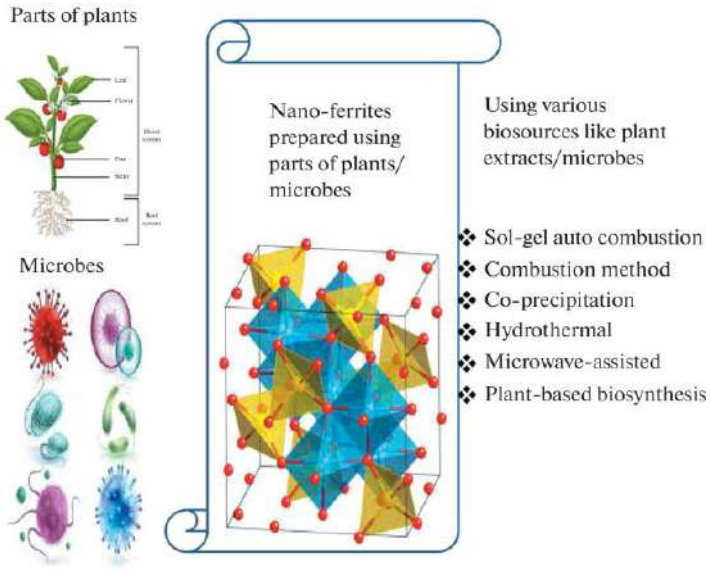


Рис. 1. Методи синтезу феритів та їх використання для біомедичних цілей [1]

Завдяки своїм унікальним фізико-хімічним властивостям феритні матеріали зі структурою шпінелі знаходять різноманітне застосування.

1. Bharamagoudar R. C., Patil A. S., Mathad S. N., et al. Exploring the Influence of Zinc Doping on Nano Ferrites: A Review of Structural, Dielectric, and Magnetic Studies. *J. Self-Propag. High-Temp. Synth.* 2024. Vol. 33. P.165-182. https://doi.org/10.3103/S1061386224700110

2. Saliha Sh. J., Mahmooda W. M. Review on magnetic spinel ferrite (MFe_2O_4) nanoparticles: From synthesis to application. *Heliyon*. 2023. Vol. 9, Is. 6. e16601. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e16601

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ ЗМІНИ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ СИНТЕТИЧНОЇ МОТОРНОЇ ОЛИВИ MOBIL 1 5W-50 ДЛЯ БЕНЗИНОВИХ ДВИГУНІВ ПІСЛЯ ВИКОРИСТАННЯ У ЛЕГКОВОМУ АВТОМОБІЛІ

Білоус Ігор Васильович,
здобувач доктора філософії, ihor.v.bilous@lpnu.ua
Національний університет «Львівська політехніка», Україна

Червінський Тарас Ігорович,
кандидат хімічних наук, доцент, taras.i.chervinskyi@lpnu.ua
Національний університет «Львівська політехніка», Україна

Як відомо, ефективне функціонування більшості галузей промисловості та сільського господарства неможливе без застосування змащувальних олив, мастил і охолоджувальних рідин. Основними споживачами таких матеріалів є машинобудівна та автомобільна промисловості, транспортна сфера (автомобільний, залізничний, морський, авіаційний транспорт), а також паливно-енергетичний комплекс.

Традиційно основою для виробництва змащувальних матеріалів слугують мінеральні оливи, частка яких у складі готових нафтопродуктів становить 96–98 %. Водночас, попри їхню відносну дешевизну, мінеральні оливи мають низку суттєвих недоліків — низьку здатність до біорозкладу, підвищену токсичність та обмежений термін експлуатаці.

Сьогодні, в умовах динамічного розвитку та модернізації різних галузей народного господарства, особливої актуальності набуває завдання створення та вдосконалення змащувальних матеріалів, здатних до швидкого біологічного розкладу в навколишньому середовищі.

Одним із перспективних напрямів цього процесу є розроблення нових і вдосконалення існуючих рецептур напівсинтетичних і синтетичних моторних олив, що характеризуються тривалим терміном експлуатації та містять у своєму складі синтетичні й полімерні компоненти. Такий підхід дає змогу зменшити використання мінеральної основи в змащувальних матеріалах, продовжити строк їх ефективної роботи в двигунах внутрішнього згоряння (ДВЗ) та збільшити міжремонтні інтервали техніки.

У процесі експлуатації в двигунах внутрішнього згоряння моторні оливи зазнають значних фізико-хімічних змін — зокрема, насичуються водою, забруднюються механічними домішками, залишками палива, продуктами окиснення та термічного розкладу. До складу відпрацьованих моторних олив входять продукти деструкції присадок, важкі метали, органічні кислоти, сполуки сірки, асфальто-смолисті речовини, а також продукти хімічних перетворень вуглеводневої основи.

Токсичність відпрацьованих олив (ВО) зростає зі збільшенням їхньої молекулярної маси, кислотного числа (КЧ) та вмісту аренів і смолистих компонентів. У складі таких олив виявлено значну кількість канцерогенних сполук, серед яких бенз(α)пірен, фенатрен, поліциклічні ароматичні вуглеводні тощо. Концентрація цих шкідливих речовин підвищується зі зростанням тривалості роботи оливи у двигуні, що становить серйозну загрозу для довкілля та здоров’я людини.

Сукупність процесів, які призводять до деградації експлуатаційних властивостей моторних олив, прийнято називати «старінням» оливи. Водночас, попри численні наукові дослідження, механізм і сутність цього явища залишаються складними та не до кінця з’ясованими.

Одну з найпоширеніших груп змащувальних матеріалів, що застосовуються в двигунах внутрішнього згоряння транспортних засобів становлять синтетичні моторні оливи. Через недостатню увагу до дослідження процесів їхнього старіння саме цю групу було обрано як об'єкт дослідження.

Аналіз змін фізико-хімічних властивостей синтетичних олив після експлуатації у двигунах дозволяє визначити основні чинники та механізми їх деградації. Отримані результати мають практичне значення – вони можуть бути використані для обґрунтування вибору найефективнішої технології регенерації відпрацьованих синтетичних моторних олив (ВМСО).

У межах дослідження як вихідні об'єкти було використано нову синтетичну моторну оливу марки Mobil 1 5W-50, що широко застосовується в двигунах транспортних засобів, а також відпрацьовану оливу цієї ж марки, злиту з картера бензинового ДВЗ після завершення встановленого терміну експлуатації.

Для зазначених зразків олив було визначено їхні основні експлуатаційні характеристики. Встановлено, що відпрацьована синтетична олива має нижчі значення кінематичної в'язкості та індексу в'язкості порівняно з новою. Крім того, у відпрацьованій моторній синтетичній оливі спостерігається зміна групового вуглеводневого складу, що підтверджується зміною показника заломлення. Виявлено підвищений вміст води та механічних домішок у відпрацьованій оливі Mobil 1 5W-50, що свідчить про роботу двигуна в умовах різних теплових режимів і зношення елементів циліндро-поршневої групи. Під час експлуатації підвищується й коксівність оливи, що, ймовірно, пов'язано зі зміною вуглеводневого складу. Найбільш показовим критерієм старіння оливи є зростання кислотного числа, яке супроводжується підвищенням її агресивності щодо металевих поверхонь двигуна. Це, своєю чергою, може спричиняти хімічну корозію деталей і трибовузлів ДВЗ, що негативно впливає на його довговічність та надійність роботи.

За допомогою методу рентгено-флуоресцентного аналізу у відпрацьованій синтетичній моторній оливі було визначено вміст окремих металів, зокрема заліза, хрому, міді, нікелю, молібдену, вольфраму та свинцю. Ці елементи входять до складу конструкційних матеріалів окремих деталей двигуна внутрішнього згоряння і відсутні в новій оливі тієї ж марки. Аналіз динаміки зміни концентрацій зазначених елементів у моторній оливі показав, що помітне зростання їхнього вмісту відбувається вже після пробігу близько 8 тис. км. Це свідчить про активні процеси зношення металевих поверхонь двигуна. Відповідно, експлуатаційні властивості оливи поступово погіршуються, що зумовлює підвищення спрацювання робочих пар кривошипно-шатунного механізму й циліндро-поршневої групи двигуна, зниження надійності роботи двигуна та скорочення міжремонтного періоду.

Отримані результати визначення експлуатаційних характеристик ВМСО дають змогу обґрунтовано вибрати оптимальну технологічну схему очищення (регенерацію) цих олив від забруднень та забезпечити їх подальше повторне використання в різних галузях народного господарства.

ЗОННО-ЕНЕРГЕТИЧНА СТРУКТУРА СУЛЬФІДУ $Ce_{1.5}Tb_{1.5}Ga_{1.67}S_7$

Блашко Назарій Миколайович,
старший лаборант, Blashko.Nazarii@vnu.edu.ua
Волинський національний університет імені Лесі Українки, Україна

Рудиш Мирон Ярославович,
кандидат фізико-математичних наук, доцент, Rudysh.myron@gmail.com
Львівський національний університет імені Івана Франка, Україна

Марчук Олег Васильович,
доктор хімічних наук, професор, Marchuk.Oleg@vnu.edu.ua
Волинський національний університет імені Лесі Українки, Україна

У роботі вперше подано результати дослідження зонно-енергетичної структури сульфіду $Ce_{1.5}Tb_{1.5}Ga_{1.67}S_7$, який кристалізується у структурному типі La_3CuSiS_7 (ПГ $P6_3$) [1]. Нецентросиметрична будова цієї сполуки відкриває перспективи для формування нових матеріалів із вираженими нелінійно-оптичними та електричними характеристиками.

Зонно-енергетичну структуру сульфіду досліджували використовуючи теорію функціоналу густини в рамках формалізму Кона-Шема [2]. Практична реалізація вказаної теорії використовувалась у вигляді програми CASTEP [3]. Для розрахунків властивостей матеріалів вихідними параметрами були кристалографічні дані для сульфіду, отримані у роботі [4] методом XRD. Моделювання структури кристалів з статистичним розміщенням атомів певних хімічних елементів здійснювалось методом змішаних атомів в наближенні віртуального кристала [5]. Перед розрахунками геометрична оптимізація не проводилась. Енергія системи отримувалась із самоузгодженого розв'язання рівнянь Кона-Шема. Хвильові функції валентних електронів описувались плоскими функціями Блохівського типу. Електронна конфігурація валентних електронів була такою: Ce: $4f^1\ 5s^2\ 5p^6\ 6s^2$; Tb $4f^9\ 5s^2\ 5p^6\ 6s^2$; Ga: $3d^{10}\ 4s^2\ 4p^1$; S: $3s^2\ 3p^4$. Енергія обрізання плоских хвиль становила E_{cut} = 900 еВ. Для опису остовних електронів застосовувався метод нормозберігаючого псевдопотенціалу [6]. Обмінно-кореляційнона взаємодія описувалась узагальненим градієнтним наближенням (GGA) з параметризацією Пердю-Бурке-Ернзергофа (PBE) [7, 8]. Інтегрування проводилось по *k*-сітці 4×4×6, яка вибиралась по методу Монхорста-Пака [9].

На рис. 1 зображено розраховану зонно-енергетичну структуру сульфіду $Ce_{1.5}Tb_{1.5}Ga_{1.67}S_7$, побудовану вздовж ліній, що з'єднують такі точки першої зони Бріллюена: Г → A → H → K → Г → M → L → H. Представлена зонна структура сульфіду побудована для діапазону енергій -65 – 25 еВ. У розрахунках відмітка 0 еВ відповідає вершині валентної зони матеріалу і співпадає з рівнем Фермі. Зонна структура $Ce_{1.5}Tb_{1.5}Ga_{1.67}S_7$ в діапазоні енергій від -7 до 25 еВ представлена набором близько розташованих смуг, що відповідають сукупності рівнів складових атомів. Ця частина електронного спектру є практично неперервною у вказаному діапазоні. В області від -7 до 2 еВ спостерігається широка смуга, що утворює верхню частину валентної зони. Смуга характеризується слабкою дисперсією. Енергетичні рівні з меншою енергією (-13 та -17 еВ) формують деякі в'язки електронних смуг. Рівні зони провідності утворені вузькими рівнями, ймовірно локалізованих *f*-станів та широкою смугою від 3 до 25 еВ. За менших енергій спостерігається набір вузьких рівнів, що відповідають сильно зв'язаним з ядрами станам.

На рис. 2 зображено повну та парціальні густини станів $Ce_{1.5}Tb_{1.5}Ga_{1.67}S_7$, що також отримані з використанням GGA-PBE функціоналу. Поблизу відмітки 0 еВ, що відповідає вершині валентної зони розташована смуга утворена локалізованим 4*f* станам Ce та Tb.

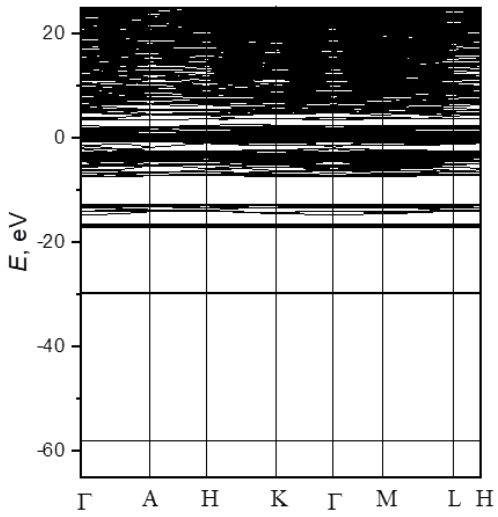


Рис. 1. Зонно-енергетична структура сульфіду $Ce_{1.5}Tb_{1.5}Ga_{1.67}S_7$

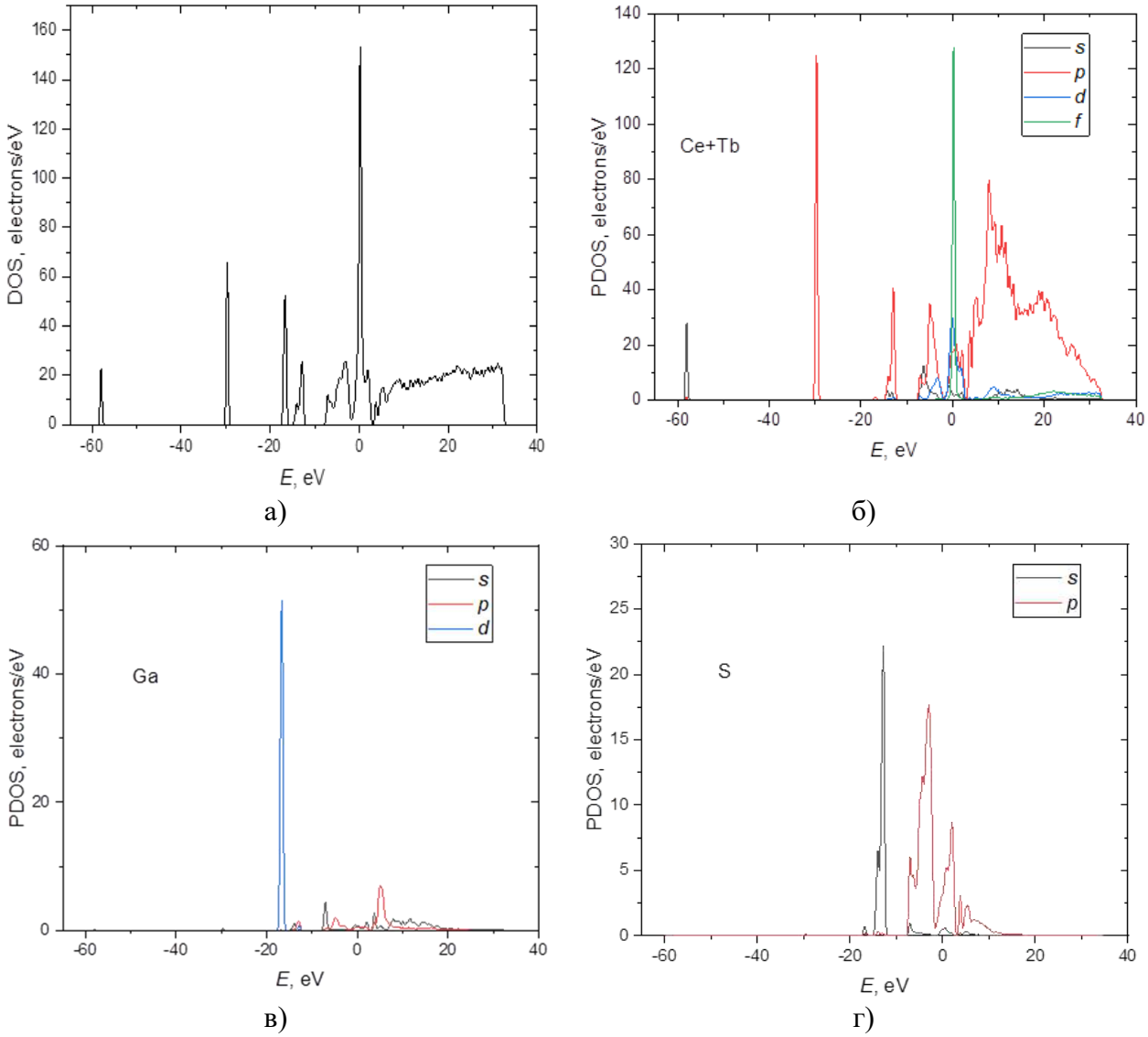


Рис. 2. Повна (*а*) та локальні парціальні густини станів (*б-г*) (DOS/PDOS) $Ce_{1.5}Tb_{1.5}Ga_{1.67}S_7$ розраховані у наближені GGA

Ця смуга утворена локалізованими електронами з енергією, що відповідає межі валентна

зона-зона провідності. Дещо вищі рівні зони провідності відповідають *p*-станам S та суміші *p*/*d*-станів Ce + Tb. За вищих енергій широка смуга зони провідності утворена перекриванням *s*, *p* та *d* станів складових атомів цього сульфіду. В діапазоні від –8 до 20 еВ валентна зона $Ce_{1.5}Tb_{1.5}Ga_{1.67}S_7$ сформована *s*- і *p*-станами атомів Ga з незначним внеском *s*- і *p*-станів S. Основний внесок атомів Ga припадає на смугу поблизу енергії –17 еВ і відповідає *d*-станам. Також, інтенсивний пік s-станів S відповідає енергії –14 еВ. *p*-стани суміші Ce + Tb представлені вузькою смугою, що знаходиться за –30 еВ, тоді як s-стани цієї атомної позиції утворюють смугу при –58 еВ.

З аналізу електронної будови досліджуваної сполуки можна сказати, що вона характеризується відносно слабкою анізотропією електронних станів у *k*-просторі та низькою дисперсією, що обернено пропорційно пов'язана з ефективною масою носіїв заряду.

Вузькі локалізовані рівні валентної зони вказують на сильну їх взаємодію з ядром. Беручи до уваги обмеження та особливості методу DFT в комбінації з використаним GGA функціоналом можна припустити, що досліджувана сполука може відноситись до представників вузькозонних матеріалів. Цікавим для подальшого досліджень є вивчення оптичних спектрів цього сульфіду та теоретичне моделювання з використанням інших підходів, що дозволить встановити природу електронних переходів та положення *f*-станів складових атомів, що може вказати на інші властивості та способи практичного використання цієї сполуки.

1. Guittard M., Julien-Pouzol M. Les composes hexagonaux de type La_3CuSiS_7. *Bull. Soc. Chim. Fr.* 1972, 3, 2207-2209.

2. Kohn W., Sham L. Self-Consistent Equations Including Exchange and Correlation Effects. *Phys. Rev*., 1965, 140, A1133-A1138. https://doi.org/10.1103/PhysRev.140.A1133

3. Clark S., Segall M., Pickard C., Hasnip P., Probert M., Refson R., Payne M. First principles methods using CASTEP. *Z. Kristallographie - Crystalline Materials*, 2005, 220, 567-570. https://doi.org/10.1524/zkri.220.5.567.65075

4. Blashko N., Marchuk O., Fedorchuk A., Romanyk, Ya. Krystalichna struktura $Ce_{1.5}Tb_{1.5}Ga_{1.67}S_7$. [Crystal structure of $Ce_{1.5}Tb_{1.5}Ga_{1.67}S_7$]. *Problems of Chemistry and Sustainable Development*. 2022, 4, 31-37 [in Ukrainian]. https://doi.org/10.32782/pcsd-2022-4-3

5. Bellaiche L., Vanderbilt D. Virtual crystal approximation revisited: Application to dielectric and piezoelectric properties of perovskites. *Phys. Rev. B*. 2000, 61, 7877-7882. https://doi.org/10.1103/PhysRevB.61.7877

6. Hamann D., Schlüter M., Chiang C. Norm-Conserving Pseudopotentials. *Phys. Rev. Lett*. 1979, 43, 1494-1497. https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.43.1494

7. Perdew J., Zunger A. Self-interaction correction to density-functional approximations for many-electron systems, *Phys. Rev. B.* 1981, 23, 5048-5079. https://doi.org/10.1103/PhysRevB.23.5048

8. Perdew J. Chevary J., Vosko S., Jackson K., Pederson M, Pederson M., Singh D., Fiolhais C. Atoms, molecules, solids, and surfaces: Applications of the generalized gradient approximation for exchange and correlation, *Phys. Rev. B.* 1992, 46, 6671-6687. https://doi.org/10.1103/PhysRevB.46.6671

9. Monkhorst H., Pack J. Special points for Brillouin-zone integrations, *Phys. Rev. B.* 1976, 13, 5188-5192. https://doi.org/10.1103/PhysRevB.13.5188

АДСОРБЦІЯ БАРВНИКІВ ПОВЕРХНЕЮ ЦИНКОВОГО ФЕРИТУ

Ванельчук Ірина Миколаївна,
здобувач другого (магістерського) рівня вищої освіти ІІ курсу ira.vanelchuk@gmail.com
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Камінський Олександр Миколайович,
кандидат хімічних наук, доцент, alexkamin@ukr.net
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Тітов Юрій Олександрович,
доктор хімічних наук, професор, chem@ukr.net
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Анічкіна Олена Василівна,
кандидат педагогічних наук, доцент кафедри хімії, eva_kvitka@meta.ua
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Забруднення повітряного середовища та водних екосистем перетворюється на одну з найгостріших екологічних загроз сьогодення. Наявні у промисловому секторі засоби очищення природних і стічних вод (як-от коагуляція, відстоювання, флотація, осадження) характеризуються високим споживанням енергії та затяжним часом обробки. Відтак, виникає необхідність у пошуку та дослідженні інноваційних матеріалів, які здатні оновити традиційні підходи та забезпечити розробку продуктивніших методів очищення.

Впродовж останнього часу значно зросла важливість методів магнітної сепарації водних розчинів, які дають змогу відокремлювати різнорідні забруднюючі речовини, зокрема барвники. Функціонування цих технологій засноване на принципах адсорбції [1].

Завдання з видалення барвників із водного середовища залишається одним із критичних у галузі очищення гідросистем. Серед великої кількості адсорбуючих матеріалів, які мають відповідні фізико-хімічні властивості, високу продуктивність показують багатокомпонентні оксидні сполуки з шпінельною структурою, відомі під назвою ферити.

Метою даної роботи є дослідження процесів адсорбції барвників кристалічного фіолетового та еозинового Б А з водних розчинів поверхнею $ZnFe_2O_4$.

Для встановлення кінетичних закономірностей було здійснено точне дозування зразків адсорбенту: 0,06 грама кожного матеріалу зважували на електронних вагах. Відміряну кількість речовини поміщали у 25 мл робочого розчину барвника, початкова (вихідна) концентрація якого фіксувалася на рівні 6 мг/л. Потім суміш інтенсивно змішувалася за допомогою шейкера. Випробування тривалості контакту між адсорбентом та розчином проводилися в наступних точках: 5, 10, 30, 60 та 90 хвилин. Експериментальні вимірювання були виконані за сталої температури, що дорівнювала 293 К.

На рис. 1 та 2 представлено графічне представлення ізотерм адсорбції барвників кристалічного фіолетового та еозинового Б А поверхнею $ZnFe_2O_4$.

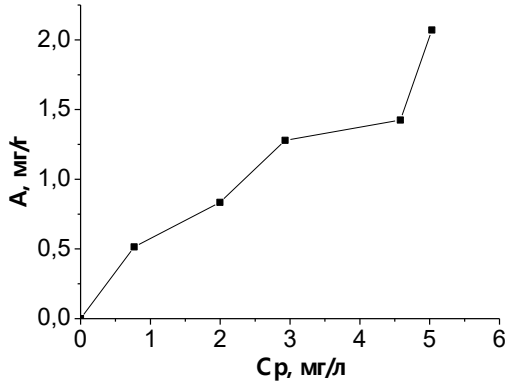


Рис. 1. Залежність адсорбції кристалічного фіолетового КФ від концентрації на поверхні $ZnFe_2O_4$

Аналіз результатів дозволив чітко встановити, що найвища адсорбційна здатність *(A)* сягає 2,07 мг/г. Одночасно, при вихідному вмісті барвника (C_o = 10 мг/л), значення коефіцієнта розподілу *(E)* було зафіксовано на рівні 411,53 мл/г. Такі дані вказують на те, що досліджуваний барвник демонструє низьку спорідненість до цинковмісного фериту. Візуально крива ізотерми демонструє L3-подібний характер (відповідно до критеріїв Гільса), який типовий для моделі Ленгмюра [2].

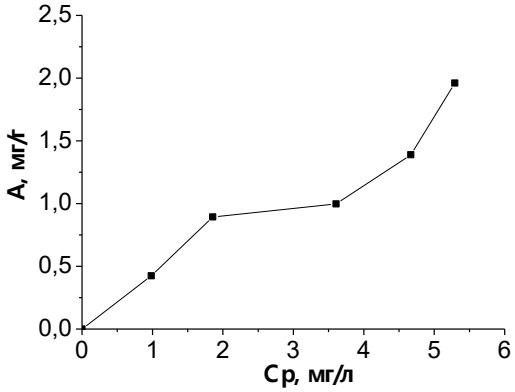


Рис 2. Залежність адсорбції еозинового Б А від концентрації на поверхні $ZnFe_2O_4$

Проведений аналіз дозволив визначити, що адсорбційна ємність *(A)* складає 1,961 мг/г. Крім того, було зафіксовано, що коефіцієнт розподілу *(E)* при початковій концентрації барвника (C_o = 6 мг/л) дорівнює 370,54 мл/г. Ці результати дозволяють стверджувати, що спорідненість барвника до $ZnFe_2O_4$ залишається незначною, аналогічно ситуації з кристалічним фіолетовим. Крива ізотерми за своїм характером нагадує Ленгмюрівські (L3-тип) криві, відповідно до систематизації Гільса. Наявність такого типу ізотерм свідчить про слабку взаємодію на межі розділу фаз "адсорбат-адсорбент", що є типовим для непористих сорбентів з гомогенною поверхнею.

1. Arami M., Limaee N. Y., Mahmoodi N. M., Tabrizi N. S. Removal of dyes from colored textile wastewater by orange peel adsorbent: equilibrium and kinetic studies. *J. Colloid Interface Sci.* 2005. Vol. 288. P. 371-376.

2. Giles C. H., MacEwan T. H., Nakhwa S. N., Smith D. Studies in Adsorption: Part XI. A System of Classification of Solution Adsorption Isotherms and Its Use in Diagnosis of Adsorption Mechanisms and in Measurement of Specific Surface Area Solids. *Journal of the Chemical Society*. 1960. Vol. 14. P. 3973-3993. http://dx.doi.org/10.1039/jr9600003973

ВИКОРИСТАННЯ ФЕРИТНИХ НАНОМАТЕРІАЛІВ

Василевська Валерія Валеріївна,
здобувач першого (бакалаврського) рівня вищої освіти ІІІ курсу chem@ukr.net
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Камінський Олександр Миколайович,
кандидат хімічних наук, доцент, alexkamin@ukr.net
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Тітов Юрій Олександрович,
доктор хімічних наук, професор, chem@ukr.net
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Денисюк Роман Олександрович,
кандидат хімічних наук, доцент, chem@ukr.net
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Чайка Микола Володимирович,
кандидат хімічних наук, доцент, chem@ukr.net
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Євдоченко Олена Сергіївна,
доктор філософії з галузі знань 01 Освіта/Педагогіка,
доцент кафедри хімії, chem@ukr.net
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Феритні наноматеріали – особливо наноферити типу MFe_2O_4 – показують значний потенціал у медичних (гіпертермія, доставка ліків, контрастні агенти), каталізі, енергетиці, екології. Їх переваги – висока активність, магнітна керованість, можливість функціоналізації поверхні. Водночас для масового застосування залишаються актуальними завдання синтезу з контролем якості, біо- та еко-безпеки, економічності виробництва.

Ферити медико-біологічного використання. Спінельні феритні наночастинки (наприклад, $ZnFe_2O_4$) вже активно досліджуються як агенти для магнітної гіпертермії, мічені контрастні речовини для МРТ, цільова доставка ліків та інші біомедичні задачі. Наприклад, $ZnFe_2O_4$-наноструктури із придатною температурою Кюрі (~43-46 °C) можуть використовуватись для гіпертермічного нагріву пухлинних клітин [1].

У огляді з діагностики та лікування раку молочної залози зазначено, що феритні наночастинки із модифікованою оболонкою (наприклад, PEG-, хітозанові покриття) демонструють антипроліферативну активність і можуть бути використані разом із зовнішнім магнітним полем [2]. Ці наночастинки привабливі через їхню магнітну керованість, можливість функціоналізації поверхні і відносно хорошу біосумісність (у певних системах).

Ферити у якості каталізаторів. Феритні наноматеріали успішно застосовуються як гетерогенні каталізатори. Наприклад, наноферити $CuFe_2O_4$, $CoFe_2O_4$, $NiFe_2O_4$, $ZnFe_2O_4$ демонструють каталіз при реакціях окиснення, утворення C–X (X = N, O, S) зв'язків, у фотокаталізі або як магнітно-відновлювані каталізатори [3]. Також феритні наночастинки застосовуються у Fenton-подібних процесах для деградації органічних забруднень, наприклад, Cu-доповані Fe_3O_4-наночастинки [4].

Ферити також мають привабливі магнітні, електричні, термостабільні властивості, що дозволяє їх застосовувати у пристроях високих частот, мікрохвильових компонентах, суперконденсаторах, сенсорах, а також в екологічній очистці (наприклад, адсорбція іонів, очищення води) [5].

Отже, феритні матеріали знаходять широке використання у різних галузях науки та промисловості.

1. Sahoo P., Choudhary P., Suvra S. L., Dixit A., Mefford O. T. Recent advances in zinc ferrite ($ZnFe_2O_4$) based nanostructures for magnetic hyperthermia applications. *Chem. Commun*. 2023. Vol. 59. P. 12065-12090. https://doi.org/10.1039/D3CC01637D

2. Akhtar M. F., Afzaal A., Saleem A., Roheel A., Khan M. I., Imran M. A comprehensive review on the applications of ferrite nanoparticles in the diagnosis and treatment of breast cancer. *Med Oncol.* 2024. Vol. 10;41(2):53 https://doi.org/10.1007/s12032-023-02277-2

3. Maji N., Dosanjh H. S. Ferrite Nanoparticles as Catalysts in Organic Reactions: A Mini Review. *Magnetochemistry*. 2023. Vol. 9(6):156. https://doi.org/10.3390/magnetochemistry9060156

4. Nuñez N., Lima Jr. E., Vásquez Mansilla M., et al. Effect of temperature and copper doping on the heterogeneous Fenton-like activity of $Cu_xFe_{3-x}O_4$ nanoparticles. *Applied Surface Science*. 2024. Vol. 656(12):159655. https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2024.159655

5. Sahoo A., Acharya A. N., Jena P., et al. Zirconium ferrite nanoparticles as smart materials for energy and environmental applications: fractional-order supercapacitors, reservoirs of F^- ions, and efficient electrocatalysts for water splitting. *Nanoscale Adv.* 2025. Vol. 7., Is. 20. P. 6575-6595. https://doi.org/10.1039/D5NA00578G

ДОСЛІДЖЕННЯ СКЛАДНООКСИДНИХ МАТЕРІАЛІВ МЕТОДАМИ РЕНТГЕНІВСЬКОЇ СПЕКТРОСКОПІЇ

Вашкеба Юрій Іванович,
здобувач першого (бакалаврського) рівня вищої освіти ІІІ курсу chem@ukr.net
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Хаснаш Богдан Олександрович,
здобувач першого (бакалаврського) рівня вищої освіти ІІІ курсу chem@ukr.net
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Камінський Олександр Миколайович,
кандидат хімічних наук, доцент, alexkamin@ukr.net
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Тітов Юрій Олександрович,
доктор хімічних наук, професор, chem@ukr.net
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Денисюк Роман Олександрович,
кандидат хімічних наук, доцент, chem@ukr.net
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Чайка Микола Володимирович,
кандидат хімічних наук, доцент, chem@ukr.net
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Євдоченко Олена Сергіївна,
доктор філософії з галузі знань 01 Освіта/Педагогіка, доцент кафедри хімії, chem@ukr.net
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Сучасні складнооксидні матеріали використовуються у різних галузях промисловості. У процесі синтезу таких матеріалів можна одержати сполуки різного функціонального призначення. Проте не менш важливим також є підтвердження утворених структур за допомогою різноманітних фізико-хімічних методів. Серед найбільш поширених інструментальних методів дослідження структури та будови складнооксидних матеріалів можна виділити групу рентгенівських методів досліджень.

Серед таких методів можна виділити:

Рентгенівську дифракцію (РД, XRD – X-ray Diffraction). Основний метод, який застосовують для визначення: кристалічної структури (тип гратки, симетрія, параметри елементарної комірки); фазового складу (ідентифікація оксидних фаз, ступенів окиснення, домішок); ступеня кристалічності (частка аморфної фази); залишкових напружень та розмірів кристалітів (за розширенням піків).

Приклади застосування: аналіз структурних змін у перовскітах, шпінелях, феритах тощо; вивчення фазових переходів при нагріванні або зміні складу; контроль синтезу складнооксидних порошків і тонких плівок.

Основні різновиди XRD:

Порошкова дифракція (PXRD) – стандарт для полікристалічних зразків;

Тонкоплівкова дифракція – для наноплівок, гетероструктур;

Високотемпературна XRD (*in situ*) – для спостереження фазових переходів.

Рентгенівську фотоелектронну спектроскопію (РФЕС, XPS – X-ray Photoelectron Spectroscopy). Призначення: аналіз поверхні (1–10 нм глибини).

Дозволяє визначити: елементний склад поверхневих шарів; хімічні стани атомів (ступінь окиснення, тип зв'язку); взаємодію між компонентами на поверхні.

Приклад: у складнооксидних матеріалах (наприклад, $La_{1-x}Sr_xMnO_3$) XPS дає змогу виявити співвідношення Mn^{3+}/Mn^{4+} і зв'язок цього зі структурними або електронними властивостями.

Рентгенівську флуоресцентну спектроскопію (РФС, XRF – X-ray Fluorescence). Використовується для: кількісного та якісного аналізу елементного складу; контролю чистоти і стехіометрії матеріалів.

Переваги: не руйнує зразок; аналізує широкий діапазон елементів (від Na до U); застосовується для порошків, керамік, тонких плівок.

Рентгенівську абсорбційну спектроскопію (XAS – X-ray Absorption Spectroscopy), яка включає методи: XANES (X-ray Absorption Near Edge Structure) – інформація про стан окиснення та локальну електронну структуру; EXAFS (Extended X-ray Absorption Fine Structure) – локальне атомне оточення (відстані до найближчих атомів, координаційне число).

Застосування: дослідження локальної структури складнооксидних каталізаторів, провідників, надпровідників.

Тобто рентгенівські методи дослідження складнооксидних матеріалів дозволяють одержати інформацію про кристалічні системи, співвідношення фаз, домішки, склад поверхні та поверхневих груп тощо.

1. Carolin Antoniak Extended X-ray absorption fine structure of bimetallic nanoparticles. *Beilstein J. Nanotechnol*. 2011. Vol. 2. P. 237-251. https://doi.org/10.3762/bjnano.2.28

2. Wang M., Árnadóttir L., Xu Z. J., et al. In Situ X-ray Absorption Spectroscopy Studies of Nanoscale Electrocatalysts. *Nano-Micro Lett*. 2019. Vol. 11, 47. https://doi.org/10.1007/s40820-019-0277-x

ДОСЛІДЖЕННЯ ФІЗИКО-ХІМІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ПРИРОДНИХ БІТУМІВ

Деркач Анастасія,
Здобувач вищої освіти V курсу
Полтавський національний педагогічний університет імені В. Г. Короленка,Україна

Природні бітуми – це складні високомолекулярні органічні речовини, що утворилися внаслідок тривалих геологічних процесів перетворення нафти та органічних залишків у надрах Землі. Це густі, в'язкі, інколи тверді суміші вуглеводнів з домішками кисневмісних, сірковмісних і азотовмісних сполук. На відміну від нафти, бітуми практично не випаровуються, мають високу щільність і темний колір від бурого до чорного

Фізичні властивості природних бітумів. Природні бітуми є складними природними вуглеводневими речовинами, що утворюються в результаті геологічних процесів окислення та полімеризації нафти, і характеризуються широким спектром фізичних властивостей, які залежать від їх складу, походження та умов формування.

Зовнішній вигляд природних бітумів варіюється від в'язкої, липкої чорної рідини до напівтвердої або твердої маси, що нагадує смолу, з кольором від коричневого до чорного, часто з блискучою поверхнею при розломі. Вони мають характерний нафтовий запах, іноді з домішками сірки, що пов'язано з вмістом сірки до 6%. Густина природних бітумів зазвичай перевищує 1 г/мл, коливаючись у діапазоні від 0,83 г/мл для парафінових типів (наприклад, з високим вмістом восків) до 1,12 г/мл для асфальтитів, з типовими значеннями 1,01-1,06 г/см³ при кімнатній температурі. Ця щільність розраховується як питома вага відносно води і впливає на їх плавучість та застосування в будівництві [1].

В'язкість є однією з ключових властивостей, що робить бітуми вкрай густими: для природних бітумів вона перевищує 10 Па·с, що значно вище, ніж у важких нафт (0,1-10 Па·с), і подібна до холодної патоки. В'язкість зменшується з підвищенням температури, перетворюючи матеріал з твердоподібного на рідкий, і залежить від типу – ароматичні бітуми поводяться як ньютонівські рідини з постійною в'язкістю незалежно від напруження зсуву при 25ºC, тоді як парафінові виявляють неньютонівську поведінку з зменшенням в'язкості при зростанні напруження, а при 60ºC більшість стає ньютонівськими через розплавлення парафінів.

Розчинність природних бітумів є вибірковою: вони нерозчинні у воді, що забезпечує їх гідрофобність і водонепроникність, формуючи бар'єр проти вологи та корозії. Водночас вони добре розчиняються в органічних розчинниках, таких як бензен, трихлоретилен (TCE, з розчинністю понад 99 % для чистих зразків), вуглеводневі фракції, але компоненти фракціонуються за розчинністю – олійні складові розчинні в пропані, смоли в н-пентані, асфальтени розчинні в бензені, але нерозчинні в н-пентані, а карбени – в сірковуглеці, але не в бензені [2-3].

Інші властивості включають термопластичність (розм'якшення при нагріванні та затвердіння при охолодженні), в'язкоеластичність (поєднання в'язких і еластичних характеристик під навантаженням), а також стійкість до УФ-променів, що викликає затвердіння через випаровування летких речовин [4-5].

Класифікація за ІЧ-спектроскопією поділяє бітуми на парафінові (з високим вмістом лінійних парафінів, гелеподібні при низьких температурах), ароматичні (ньютонівські, з середньою ароматичністю) та смолисті (полярні, з високою ароматичністю та полярністю, в'язкоеластичні), з кореляцією в'язкості при 135 ºC з полярністю та ароматичністю (R^2 до 0,948) [6].

Ці властивості роблять природні бітуми ідеальними для адгезії, гідроізоляції та будівельних матеріалів, але вимагають урахування в технологіях переробки для оптимізації.

Хімічні властивості природних бітумів. Природні бітуми є складними природними

сумішами високов'язких вуглеводневих сполук, що утворюються в результаті геологічних процесів, і характеризуються широким спектром хімічних властивостей, які залежать від джерела походження (наприклад, озокерит, асфальт, мальта, гілсоніт), хімічного складу та умов формування. Вони являють собою колоїдні системи, де асфальтени виступають як дисперсна фаза, а мальтени (суміш насичених вуглеводнів, ароматичних сполук та смол) – як безперервна фаза, що робить їх практично неможливим для повного молекулярного розділення через надзвичайно велику кількість різних молекул з унікальними структурами [7].

Хімічний склад природних бітумів переважно вуглеводневий (85-95%), з домінуванням високомолекулярних сполук (молекулярна маса від 500 до 2000 Да), але включає також гетероатоми – сірку (до 10%, переважно у формі тіофенів, сульфідів, сульфоксидів та сульфоній), азот (0,1-2%, у формі піролів, індолів, хінолінів та порфіринів), кисень (0,1-3%, у формі карбоксильних, фенольних, ефірних та карбонільних груп) – що надає їм полярності та впливає на реакційну здатність. Крім того, присутні мікроелементи металів (ванадій і нікель на рівні менше 10 ppm) часто асоційовані з порфіриновими комплексами, а також залізо, мідь та інші, що походять від оригінальної нафти і можуть каталізувати окислювальні процеси. Елементний аналіз (таблиця 1) показує типовий склад: вуглець 80-88%, водень 8-12%, сірка 1-10%, азот 0,1-2%, кисень 0,1-3%, з атомним співвідношенням H:C від 1,3 до 1,7, що вказує на високий ступінь насиченості та ароматичності порівняно з легкими нафтами [8].

Для класифікації хімічного складу природні бітуми поділяються на чотири основні фракції за методом SARA (Saturates, Aromatics, Resins, Asphaltenes), який базується на розчинності та полярності: насичені вуглеводні (Saturates) становлять 5-20%, це переважно парафінові та нафтенові сполуки з низькою полярністю, що забезпечують пластичність і низькотемпературну стійкість, але корелюють з точкою розм'якшення; ароматичні сполуки (Aromatics) – 40-60 %, це циклічні вуглеводні з бензольними кільцями (моно-, ди- та поліароматики), що мають найнижчу молекулярну масу серед фракцій і надають розчинності та сумісності; смоли (Resins) – 20-40%, полярні сполуки з гетероатомами, подібні до асфальтенів, але з меншою молекулярною масою (500-1000 Да), що стабілізують колоїдну систему, забезпечуючи адгезію та еластичність; асфальтени (Asphaltenes) – 5-25%, найполярніші та високомолекулярні (1000-5000 Да) компоненти з конденсованими ароматичними кільцями, гетероатомами та металопорфіринами, що формують міцеллярні агрегати і відповідають за в'язкість, жорсткість та «холестеролоподібну» поведінку, викликаючи проблеми з осадженням у трубопроводах.

Таблиця 1. Елементний аналіз природних бітумів

Елемент	Вміст, % мас.	Примітки
Вуглець (C)	80-88	Основний компонент, формує вуглеводневий скелет, включаючи алкани, циклоалкани та ароматичні сполуки. Високий вміст вказує на значну ароматичність.
Водень (H)	8-12	Визначає ступінь насиченості, співвідношення H/C (1,3-1,7) вказує на змішану природу (насичені та ароматичні сполуки).
Сірка (S)	1-10	Присутня у формі тіофенів, сульфідів, сульфоксидів, сульфоній. Впливає на реакційну здатність і в'язкість. Високий вміст ускладнює переробку.
Азот (N)	0,1-2	Входить до складу піролів, індолів, хінолінів, порфіринів. Впливає на полярність і адгезійні властивості.
Кисень (O)	0,1-3	Міститься в карбоксильних, фенольних, ефірних, карбонільних групах. Підвищує полярність і чутливість до окиснення.
Метали (V, Ni, Fe тощо)	<0,01 (до 10 ppm)	Ванадій і нікель асоційовані з порфіринами, впливають на каталітичні процеси та стабільність при переробці.

Фракціонування відбувається за розчинністю: насичені та ароматичні компоненти розчинні в пропані та н-пентані, смоли – в н-пентані, асфальтени – в бензені чи толуолі, але нерозчинні в н-пентані, тоді як карбени (підфракція асфальтенів) розчинні в сірковуглеці, але не в бензені. Ця фракційна структура визначає тип бітумів: парафінові (високий вміст насичених, гелеподібні при низьких температурах), нафтенові (домінування циклоалканів), ароматичні (висока ароматичність, ньютонівська поведінка) або смолисті (полярні, в'язкоеластичні), з кореляцією між полярністю, ароматичністю та властивостями (R^2 до 0,95) [9].

Хімічні властивості оцінюються за допомогою аналітичних методів: елементний аналіз (для C, H, N, S, O), хроматографія (газова, рідинна для фракціонування), спектроскопія (ІЧ для класифікації за полярністю та ароматичністю, ЯМР для структурного аналізу, УФ та мас-спектрометрія для ідентифікації молекул), рентгенівська дифракція (для вивчення супрамолекулярних агрегатів) та наноіндентування (для кореляції компонентів з механічними властивостями) [10].

Висновки. За фізичними характеристиками природні бітуми варіюють від в'язких рідин до твердих, склоподібних мас, демонструючи високі показники в'язкості, низьку розчинність у воді й вибіркову розчинність в органічних розчинниках. Їхній хімічний склад переважно вуглеводневий (80-90% C, 8-12% H) із суттєвим вмістом гетероатомів (S, N, O) та мікроелементів, що обумовлює полярність, реакційну здатність і технологічну поведінку під час переробки.

Колоїдна структура бітумів складається з асфальтенів (дисперсна фаза) і мальтенів (суцільна фаза), що забезпечує їхню в'язкоеластичну природу. Фракційний аналіз за методом SARA (насичені, ароматичні, смолисті сполуки й асфальтени) є ключовим для розуміння їх властивостей і класифікації.

1. Вольченкова А.В. Геологія нафти і газу. Навчальний посібник. Полтава: НУ «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», 2025. 201 с.

2. McCaffrey W. D., Watson J. Thermodynamics of chlorobenzene, bromobenzene, or 1-chloronaphthalene or 1,2,4-trichlorobenzene + alkane. *J. Mol. Liq*. 348, 2022. URL: https://arxiv.org/abs/2409.13378.

3. Mazur Y. I., Grzybowski B. A. Temperature dependence of phenanthrene cavity radius in apolar solvents and in polar water. URL: https://arxiv.org/abs/cond-mat/0306385.

4. Yadykova, A. Y. Infrared Spectral Classification of Natural Bitumens for Pavement Applications. Journal of Materials Science. 58(5), 2023. URL: https://doi.org/10.1007/s11041-023-01599-0.

5. Faramarzi, M., et al. Effects of using carbon nanotubes on thermal and ductility properties of bitumen. arXiv preprint arXiv: 1907.05819. URL: https://arxiv.org/abs/1907.05819.

6. Zahedi, M. Softening Point Test of Bitumen – Ring & Ball Apparatus Procedure. Infinity Galaxy. URL: https://infinitygalaxy.org/softening-point-test-of-bitumen/.

7. Демчук В. Бітум модифікований смолами для дорожнього будівництва. Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису. Львів: ЛПНУ, 2020. URL: https://lpnu.ua/sites/default/files/2020/radaphd/5664/disertaciya-demchuk_0.pdf.

8. Mullins, O. C., Sheu, E. Y., Hammami, A., Marshall, A. G. Asphaltenes, Heavy Oils, and Petroleomics. New York: Springer, 2007. 592 p.

9. Rahimi, M., Fatemi, S. H. SARA Analysis of Crude Oils and Bitumens. Journal of Petroleum Science and Engineering. 2020, Vol. 184, 106531. URL: https://doi.org/10.1016/j.petrol.2019.106531.

10. Speight, J. G. Analysis of Petroleum and Natural Bitumens. Boca Raton: CRC Press. 2014. 856 p. URL: https://www.crcpress.com/The-Chemistry-and-Technology-of-Petroleum-Fifth-Edition/Speight/p/book/9781466599020.

НЕОРГАНІЧНІ НАНОМАТЕРІАЛИ ЗІ СТРУКТУРОЮ ШПІНЕЛІ

Добринський Олексій Володимирович,
здобувач першого (бакалаврського) рівня вищої освіти IV курсу chem@ukr.net
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Камінський Олександр Миколайович,
кандидат хімічних наук, доцент, alexkamin@ukr.net
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Денисюк Роман Олександрович,
кандидат хімічних наук, доцент, chem@ukr.net
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Чайка Микола Володимирович,
кандидат хімічних наук, доцент, chem@ukr.net
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Кучерук Сніжана Василівна,
доктор філософії з галузі знань Хімічна та біоінженерія, доцент кафедри хімії,
snezhunka1107@gmail.com
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Ходюк Олександр Васильович,
асистент кафедри хімії chem@ukr.net
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Оксидні матеріали зі структурою шпінелі здатні кристалізуватися у трьох типах кристалічних ґрадок: шпінелях (AB_2O_4), гранатах ($A_3Fe_5O_{12}$) та магнетоплюмбітах ($AFe_{12}O_{19}$), де A та B – іони двох- і трьохвалентних катіонів металів.

Алюмінати належать до складнооксидних сполук загальної формули MAl_2O_4, у якій M зазвичай є двовалентним катіоном металу, таким як: Cu^{2+}, Zn^{2+}, Mg^{2+}, Ni^{2+}, Fe^{2+}, Co^{2+} або Mn^{2+}. Ці матеріали кристалізуються у кубічній сингонії та мають структуру шпінелі – природного мінералу складу $MgAl_2O_4$.

Структура шпінелей базується на ґратці іонів Оксигену (O^{2-}), упакованих у гранецентровану кубічну (ГЦК) комірку. Між аніонами Оксигену утворюються два типи інтерстиціальних порожнин: тетраедричні (A), де розміщуються двовалентні іони металів, та октаедричні (B), у яких локалізуються тривалентні іони металів. Таким чином, ці позиції прийнято позначати як A- і B-вузли відповідно [1].

У роботі [2] показано структуру цинкового фериту, як прикладу шпінелі. a) Два будівельних блоки елементарної комірки з тетраедричним блоком A (угорі) та октаедричним блоком B (внизу). b) Елементарна комірка, побудована з чергування блоків A і B. c) Багатогранна модель елементарної комірки шпінелі, що показує тетраедри (зелений) і октаедри (синій), утворені спотвореним кубічним найбільш щільно упакованим Оксигеном (червоний). d) Тетраедрична частина комірки, яка ділить кути (решітка пірохлору), утворена октаедричними вузлами з виділеним тетраедричним розташуванням третіх найближчих октаедричних сусідів (рис. 1.).

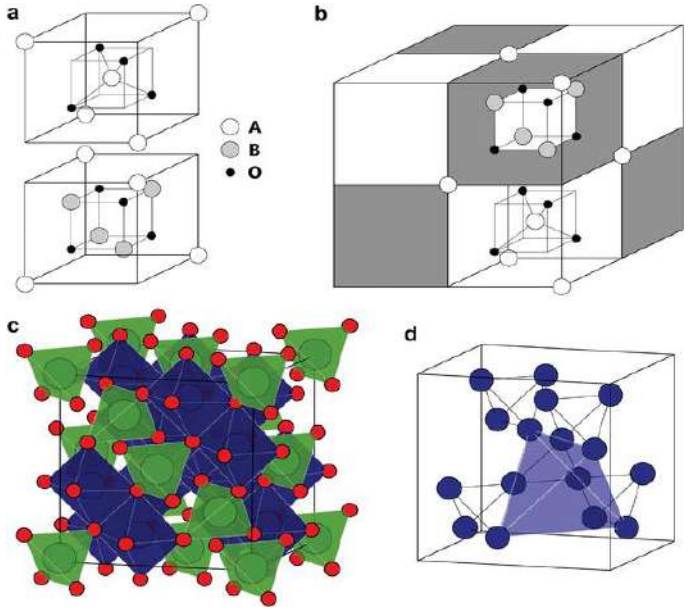


Рис. 1. Структура шпінелі [2]

На рис. 2 також показано елементарну комірку зі структурою шпінелі.

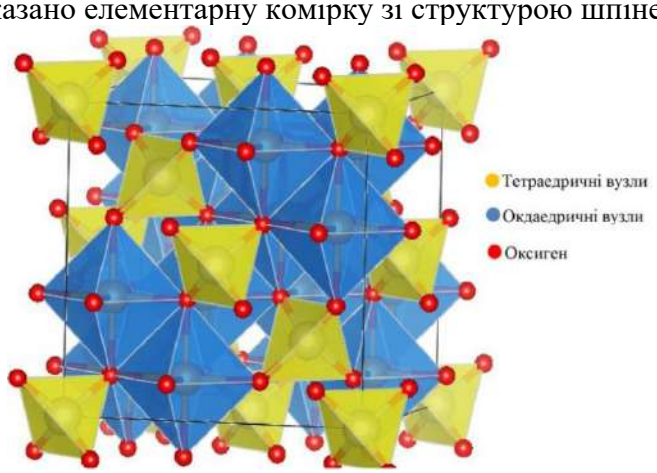


Рис. 2. Структура елементарної комірки зі структурою шпінелі з тетраедричними та октаедричними вузлами [3].

1. Kurian M., Thankachan S. Structural diversity and applications of spinel ferrite core–shell nanostructures: A review, *Open Ceramics*. 2021. Vol. 8. 100179. https://doi.org/10.1016/j.oceram.2021.100179

2. Sandemann J., Grønbech T., Støckler K., Ye F., Chakoumakos B., Iversen B. Direct Visualization of Magnetic Correlations in Frustrated Spinel $ZnFe_2O_4$. *Advanced materials*. 2022. Vol. 35. e2207152. https://doi.org/10.1002/adma.202207152

3. Hosseini Vajargah S., Madaah Hosseini H. R., Nemati Z. A. Synthesis of nanocrystalline yttrium iron garnets by sol-gel combustion process: The influence of pH of precursor solution. *Materials Science and Engineering: B*. 2006. Vol. 129, Is. 1-3. P. 211-215. https://doi.org/10.1016/j.mseb.2006.01.014

КІНЕТИКА ВИЛУЧЕННЯ КРИСТАЛІЧНОГО ФІОЛЕТОВОГО БАРВНИКА З ВОДНИХ РОЗЧИНІВ

Іванюк Марія Михайлівна,
здобувач першого (бакалаврського) рівня вищої освіти IV курсу chem@ukr.net
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Камінський Олександр Миколайович,
кандидат хімічних наук, доцент, alexkamin@ukr.net
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Кучерук Сніжана Василівна,
доктор філософії з галузі знань Хімічна та біоінженерія, доцент кафедри хімії,
snezhunka1107@gmail.com
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Тітов Юрій Олександрович,
доктор хімічних наук, професор, chem@ukr.net
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Панасюк Дмитро Юрійович,
судовий експерт, асистент кафедри хімії dima.panasuk261195@gmail.com
Житомирський науково-дослідний експертно-криміналістичний центр МВС України
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Ходюк Олександр Васильович,
асистент кафедри хімії chem@ukr.net
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Викиди деяких шкіряних виробництв у водне середовище занадто пов'язано з кристалічним фіолетовим; ці викиди нещодавно стали значною екологічною проблемою.

Також серед основних недоліків застосування цього барвника слід відзначити його канцерогенні властивості та високу хімічну стабільність, що ускладнює процеси його біологічного розкладання. Через стійкість до мікробного розщеплення та здатність тривалий час зберігатися у різних середовищах, дану сполуку вважають важко контрольованою з екологічної точки зору. Крім того, кристалічний фіолетовий може спричиняти помірне подразнення очей, а у разі тривалого контакту – пошкодження рогівки та кон'юнктиви. Потрапляння барвника у дихальні шляхи викликає подразнення слизових оболонок та може супроводжуватися симптомами інтоксикації, такими як нудота, блювання, діарея, головний біль, запаморочення та біль. Тривала дія речовини негативно впливає на слизові оболонки і травну систему, що свідчить про її потенційну токсичність для живих організмів [1]. Тому вилучення даного барвника з водних розчинів є актуальним.

Для дослідження кінетики вилучення кристалічного фіолетового (КФ) з розчину авторами [1] проведено його адсорбцію з використанням неочищеного хітину. Було виявлено, що маса 0,08 г хітину може ефективно утримувати КФ. Моделювання експериментальних результатів показало, що кінетика адсорбції КФ на неочищеному хітині відповідає кінетиці псевдо-другого порядку за досліджуваних температур, і внутрішньочастинкова дифузія була не лише етапом контролю швидкості. Після 80 хвилин контакту досягається насичення поверхні. Модель Фрейндліха описує ізотерми адсорбції. Адсорбована кількість збільшується, коли pH змінюється від 4 до 12. Термодинамічне дослідження показало, що адсорбція КФ на хітині є спонтанною ($\Delta G° < 0$) та ендотермічною ($\Delta H° > 0$).

У роботі [2] було проведено дослідження адсорбції барвника кристалічного фіолетового

(КФ) з водного розчину з використанням магнітних наночастинок (МНЧ), модифікованих додецилсульфатом натрію (ДСН). Синтезовані МНЧ були охарактеризовано за допомогою просвічувальної електронної мікроскопії (ПЕМ), електричної аерозолі (ЕДАК) та рентгенівської дифракції (РФД). У дослідженнях з оптимізації партій максимальна ефективність видалення 80,4% була отримана при оптимальних рівнях pH 6, часі контакту 10 хв, дозі адсорбенту 0,25 г/л та початковій концентрації барвника 10 ppm. Дані адсорбції найкраще узгоджувалися з ізотермою Фрейндліха (R^2 = 0,957), а максимальна адсорбційна здатність 166,67 мг/г була визначена за ізотермою Ленгмюра. Адсорбція КФ покритими СДН МНЧ відповідає кінетичній моделі псевдо-другого порядку. Результати цього дослідження показали, що покриті СДН МНЧ є економічно ефективним та легко роздільним наноадсорбентом для ефективного видалення барвника кристалічного фіолетового.

У дослідженні [3] для видалення кристалічного фіолетового (КФ) барвника з водних розчинів використовувалися чисті та окислені тканини з активованим вугіллям (АВ) з різною текстурою поверхні та характеристиками пористості. Були проведені пакетні експерименти з адсорбції для дослідження адсорбційної здатності КФ тканин АВ з точки зору часу контакту, температури, концентрації адсорбату та кількості адсорбенту. Також було проведено оцінку термодинамічних параметрів та адсорбційної здатності тканин АВ у розчинах ґрунтової та морської води. Для аналізу та апроксимації даних адсорбції використовувалися модель ізотерми Ленгмюра, псевдо-першого та псевдо-другого порядку кінетичних моделей. Термодинамічні дослідження показали, що адсорбція відбувається спонтанно та є ендотермічною.

Тобто, дослідження кінетичних параметрів процесів адсорбції барвників є важливим завданням у розумінні механізмів адсорбції на межі поділу фаз.

1. Sadoq M., Atlas H., Imame S., et al. Elimination of crystal violet from aqueous solution by adsorption on naturel polysaccharide: Kinetic, isotherm, thermodynamic studies and mechanism analysis. *Arabian Journal of Chemistry*. 2024. Vol. 17, Is. 1. 105453. https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2023.105453

2. Muthukumaran C., Sivakumar V. M., Thirumarimurugan M. Adsorption isotherms and kinetic studies of crystal violet dye removal from aqueous solution using surfactant modified magnetic nanoadsorbent. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*. 2016. Vol. 63. https://doi.org/10.1016/j.jtice.2016.03.034

3. Mulla B., Ioannou K., Kotanidis G., et al. Removal of Crystal Violet Dye from Aqueous Solutions through Adsorption onto Activated Carbon Fabrics. *Journal of Carbon Research*. 2024. Vol. 10, 19. https://doi.org/10.3390/c10010019

ОЧИЩЕННЯ ВІДПРАЦЬОВАНИХ НАФТОВИХ ОЛИВ МЕТОДОМ КОАГУЛЯЦІЇ У ПРИСУТНОСТІ ПОБУТОВИХ ПАВ

Казимирів Петро Іванович,
здобувач доктора філософії, petro.i.kazymyriv@lpnu.ua
Національний університет «Львівська політехніка», Україна

Червінський Тарас Ігорович,
кандидат хімічних наук, доцент, taras.i.chervinskyi@lpnu.ua
Національний університет «Львівська політехніка», Україна

Відомо, що підприємства нафтопереробної промисловості належать до найбільш екологічно небезпечних виробництв. Щороку в Україні утворюється значна кількість відпрацьованих мастильних матеріалів, частка яких перевищує 50% від загального обсягу забруднень нафтопродуктами [1, 2].

Відпрацьовані нафтові оливи (ВНО) характеризуються високою токсичністю та низьким рівнем біологічного розкладу, тому становлять серйозну загрозу для довкілля. Особливо небезпечними є випадки їх потрапляння у ґрунти та водні об'єкти, що призводить до стійкого забруднення екосистем.

У зв'язку з цим актуальним напрямом є регенерація ВНО з метою відновлення їхніх експлуатаційних властивостей і подальшого використання у виробництві. Найбільш ефективним та економічно виправданим є впровадження процесів глибокої переробки ВНО, які забезпечують отримання базових компонентів для виробництва моторних, трансмісійних олив і пластичних мастил. Це, у свою чергу, сприяє зниженню імпортозалежності та покращенню економічних показників нафтопереробної галузі України [3].

Для відновлення властивостей ВНО застосовують різні технологічні операції, що базуються на фізичних, хімічних і фізико-хімічних процесах, спрямованих на видалення продуктів старіння та забруднень [4, 5].

Найскладнішими для процесів регенерації є оливні емульсії, у складі яких присутня значна кількість води або водних розчинів охолоджувальних рідин, що потрапляють до системи змащування внаслідок технологічних порушень чи аварійних ситуацій. Регенерація обводнених відпрацьованих олив ускладнюється тим, що наявна у їх складі вода перешкоджає ефективному застосуванню фізичних методів очищення: фільтрація, відстоювання, осадження або зневоднення під час атмосферно-вакуумної перегонки. Це пов'язано зі стійкістю водно-оливних емульсій, які важко руйнуються звичайними способами. У зв'язку з цим у технологіях очищення таких олив переважно використовують метод коагуляції із застосуванням високоефективних, проте дорогих коагулянтів. Використання цього підходу забезпечує ефективне вилучення води з оливної основи, що дозволяє підготувати матеріал до подальшої регенерації у повному технологічному циклі. Однак висока вартість реагентів істотно знижує економічну доцільність процесу та обмежує його широке промислове застосування [6-9].

На нашу думку, для очищення відпрацьованих обводнених моторних олив доцільно було б використати метод коагуляції із використанням деяких дешевих поверхнево-активних речовин (ПАР), які є доступними на вітчизняному ринку нашої держави.

У роботі вивчено основні закономірності процесу коагуляції відпрацьованої моторної оливи NORMA 15W-40 у присутності карбоксиметилцелюлози (КМЦ).

Вивчено вплив кількості ПАР на зміну експлуатаційних властивостей очищеної моторної оливи. Отримані результати проведених досліджень подано у таблиці 1.

Таблиця 1. Вплив кількості карбоксиметилцелюлози на експлуатаційні властивості очищеної оливи NORMA 15W-40

КМЦ, % мас.	Кінематична в'язкість, мм^2/с		Індекс в'язкості	Вміст води, %	Кислотне число, мг КОН/г	Вміст механічних домішок, %
	50ºС	100 ºС				
0	68,72	14,77	100	1,5	2,31	0,041
5	62,43	11,89	103	0,09	2,13	0,035
10	62,04	11,55	105	сліди	1,85	0,028
20	61,86	11,37	105	сліди	1,82	0,021

Як бачимо з результатів, поданих у таблиці 1, зі збільшенням кількості КМЦ відбувається зменшення значень кінематичної в'язкості, кислотного числа та вмісту механічних домішок, проте найбільший ступінь вилучення води з обводненої відпрацьованої оливи був досягнутий при використанні 10% мас. коагулянта. Подальше збільшення кількості КМЦ не значно покращувало значення отриманих результатів досліджень.

Успішність використання КМЦ було підтверджено ІЧ-спектроскопічним дослідженням. На записаному ІЧ-спектрі оливи після її очищення у присутності 10 % мас. КМЦ було підтверджено відсутність смуги поглинання гідроксильної групи при 3210-3450 см-1. Інтенсивність смуг поглинання карбоксильних груп також зменшилась в області 1810-1625 см-1, що підтверджує результат зменшення значення кислотного числа [10].

На основі отриманих результатів проведених дослідження можемо констатувати, що для очищення обводнених ВНО від емульгованої води та частини механічних домішок методом коагуляції як коагулянт можна використовувати карбоксиметилцелюлозу в кількості 10% мас. за 80°С й тривалості процесу 30. Очищену від води ВНО доцільно скерувати на комбіновані методи регенерації для повного відновлення її техніко-експлуатаційних властивостей та повернення у повторне використання в різних галузях промисловості.

1. Hrynyshyn O., Korchak B., Chervinskyy T., Kochubei V. Change in Properties of M-10DM Mineral Motor Oil After Its Using in the Diesel Engine *Chemistry & Chemical Technology*. 2017. V. 11 (3). P. 387–391.

2. Korchak B., Hrynyshyn O., Chervinskyy T., Polyuzhin I. (2018). Application of Vacuum Distillation for the Used Mineral Oils Recycling *Chemistry & Chemical Technology*. 2018. V. 12 (3). P. 365–371.

3. Korchak B., Grynyshyn O., Chervinskyy T., Shapoval P., Nagurskyy A. (2020). Thermooxidative Regeneration of Used Mineral Motor Oils *Chemistry & Chemical Technology*. 2020. V. 14 (1). P. 129–134.

4. Zhirong Liang, Longfei Chen, Mohammed S. Alam, Soheil Zeraati Rezaei, Christopher Stark, Hongming Xu, Roy M. Harrison. Comprehensive chemical characterization of lubricating oils used in modern vehicular engines utilizing GC × GC-TOFMS. *Fuel.* 2018. (220). P. 792–799.

5. Pelitli V., Doğan Ö., Köroğlu H. J. Waste oil management: Analyses of waste oils from vehicle crankcases and gearboxes *Global Journal of. Environmental. Science. Management*. 2017. V. 3 (1). P. 11–20.

6. Ashwin Kumar Yegya Raman, Clint P. Aichele. Demulsification of Surfactant-Stabilized Water-in-Oil (Cyclohexane) Emulsions using Silica Nanoparticles. *Energy & Fuels*. 2018. V. 32 (8). P. 8121–8130.

7. Pratik S. Gotad, Abdol Hadi Mokarizadeh, Mesfin Tsige, Sadhan C. Jana. Understanding Separation of Oil–Water Emulsions by High Surface Area Polymer Gels Using Experimental and Simulation Techniques *Langmuir.* 2024. V. 40 (46). P. 24622–24633.

8. Wu J., Xu Y., Dabros T., Hamza H. Effect of Demulsifier Properties on Destabilization of Water-in-Oil Emulsion *Energy Fuels.* 2003. V. 17 (6). P. 1554–1559.

9. Falode O. A., Aduroja O. Ch. (2015). Development of Local Demulsifier For Water-In-Oil Emulsion Treatment. *International Journal of Sciences: Basic and Applied Rese*. 2015. V. 24 (1). P. 301–320.

10. Dominguez-Rosado E., Pichtel J. Chemical Characterization of Fresh, Used and Weathered Motor Oil Via GC/MS, NMR and FTIR Techniques. *Proceeding of Indiana Academy Science*. 2003. V. 112 (2). P. 109–116.

ВПЛИВ ЛЕГУВАННЯ ІОНАМИ МЕТАЛІВ НА ФОТОКАТАЛІТИЧНУ АКТИВНІСТЬ $CdAl_2O_4$

Качан Владислав Юрійович,
здобувач другого (магістерського) рівня вищої освіти II курсу pro100vlad.ka007@gmail.com
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Камінський Олександр Миколайович,
кандидат хімічних наук, доцент, alexkamin@ukr.net
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Денисюк Роман Олександрович,
кандидат хімічних наук, доцент, chem@ukr.net
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Віленський Володимир Олексійович,
доктор хімічних наук, професор, chem@ukr.net
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Чайка Микола Володимирович,
кандидат хімічних наук, доцент, chem@ukr.net
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Панасюк Дмитро Юрійович,
судовий експерт, асистент кафедри хімії dima.panasuk261195@gmail.com
Житомирський науково-дослідний експертно-криміналістичний центр МВС України
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Сучасні методи очищення стічних вод від синтетичних барвників дедалі частіше комбінують процеси адсорбції та фотокаталічну деградацію, тому постає проблема синтезу матеріалів з такими властивостями. Особливу увагу приділяють матеріали зі структурою шпінелі з загальною формулою AB_2O_4, зокрема алюмінати. Через їх хімічну та термічну стабільність, сорбційні та каталітичні властивості, легкість легування вони є перспективними для створення нових адсорбентів, фотокаталізаторів, для видалення синтетичних барвників [1].

Кадмій алюмінат ($CdAl_2O_4$) використовується як адсорбент, фотокаталізатор, пігмент та компонент керамічних матеріалів, завдяки своїй стабільності, стійкості до хімічного впливу високій температурі плавлення. Проте властивості чистого $CdAl_2O_4$ обмежені широкою забороненою зоною та відносно низькою питомою поверхнею. Для того, щоб збільшити діапазон функціональних властивостей використовують метод легування – впровадження іонів перехідних або благородних металів в структуру кристалічної гратки матеріалу. Така модифікація матеріалу змінює оптичні характеристики, електронну структуру та адсорбційно-каталічну активній кадмій алюмінату [2].

Так у роботі [3] синтезовано $CdAl_2O_4$ легований Zn. Зразки охарактеризовано методами рентгенівської дифракції (XRD), інфрачервоної Фур'є-спектроскопії (FTIR), УФ-видимої спектроскопії, та методом трансмісійної електронної мікроскопії високої роздільної здатності (HR-TEM). Нанокомпозит використано у якості фотокаталізатора для видалення барвників блискучого зеленого (BG) та блискучого синього (BB). Встановлено, що модифікований фотокаталізатор $CdAl_2O_4$, легований Zn продемонстрував значно кращу фотодеградаційну

поведінку у видимій області ніж чистий фотокаталізатор кадмій алюмінат. $CdAl_2O_4$ легований Zn також демонструє максимальну фотокаталітичну активність(відсоток деградації обох розчинів збільшується 91% для BB та 96% для BG) та високу стабільність, ніж чистий $CdAl_2O_4$.

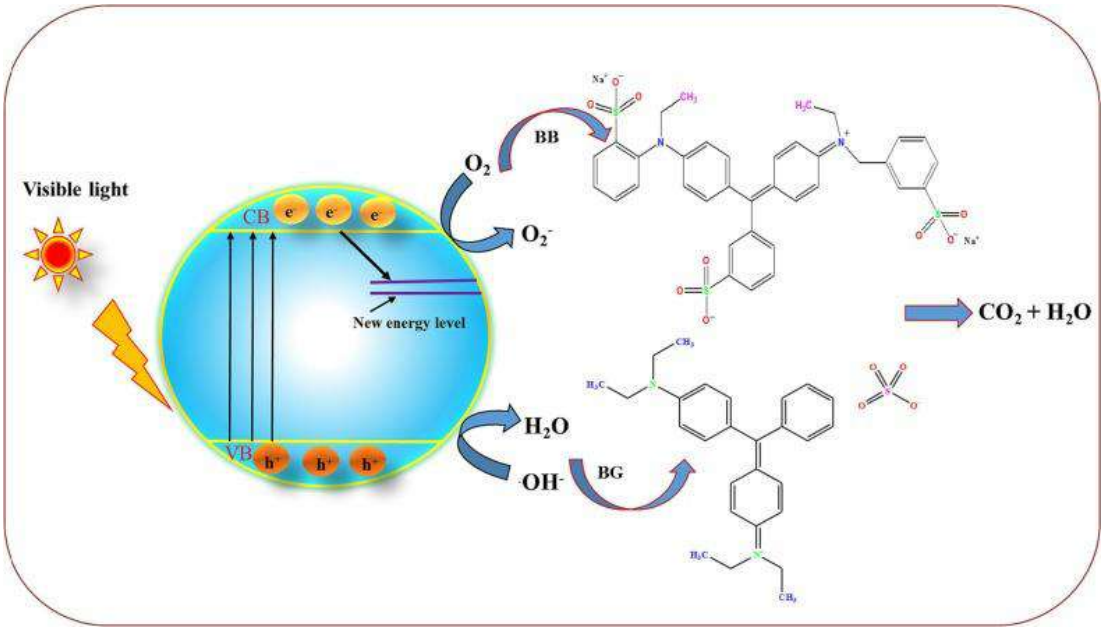


Рис.1. Механізм реакції фотодеградації барвників BB та BG на наночастинках $CdAl_2O_4$, легованих Zn [3].

1. Tangcharoen T., T-Thienprasert J., Kongmark C. Effect of calcination temperature on structural and optical properties of MAl_2O_4 (M = Ni, Cu, Zn) aluminate spinel nanoparticles. *J Adv Ceram*. 2019. Vol. 8. P. 352-366. https://doi.org/10.1007/s40145-019-0317-5

2. Rajesh G., et al. Strategies for ameliorating the photodegradation efficiency of Mn-doped $CdAl_2O_4$ nanoparticles for the toxic dyes under visible light illumination. *Chemosphere.* 2023. Vol. 321. 138069. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2023.138069

3. Rajesh G., et al. Development of lattice defects and oxygen vacancies in Zn-doped $CdAl_2O_4$ nanoparticles for improving the photocatalytic efficiencies of brilliant green and brilliant blue dyes under visible illumination. *Catalysis Communications*. 2023. Vol. 183. 106762. https://doi.org/10.1016/j.catcom.2023.106762

ХІМІЧНИЙ СКЛАД РОСЛИННОЇ СИРОВИНИ, ЩО ВИКОРИСТОВУЄТЬСЯ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА ПЛИТНИХ ІЗОЛЯЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ

Коваленко Олександр Анатолійович,
здобувач вищої освіти ІІІ курсу, факультет природничих наук та менеджменту,
chemikulenko@gmail.com
Полтавський національний педагогічний університет імені В. Г. Короленка

Кузнецова Тетяна Юріївна,
кандидат хімічних наук, доцент кафедри хімії та методики викладання хімії,
chemikulenko@gmail.com
Полтавський національний педагогічний університет імені В. Г. Короленка

Куленко Олена Анатоліївна,
старший викладач кафедри хімії та методики викладання хімії, chemikulenko@gmail.com
Полтавський національний педагогічний університет імені В. Г. Короленка

Великомасштабним лігноцелюлозним відходом є солома злакових культур. Щорічно лише в Україні накопичується понад 100 млн. тон соломи (таблиця 1). Частково її використовують для годування сільськогосподарських тварин, переважно великої рогатої худоби, але більшість соломи спалюється.

Овес в даний час – це основна зернофуражна культура, і на підприємстві з переробки вівса потужністю 50 тон на добу утворюється близько 15 т відходів – лушпиння вівса. Оскільки лушпиння вівса має низьку щільність (200 кг/м^3) і транспортувати її нерентабельно, вона спалюється, використовується як підстилка для тварин або для мульчування грунту [3].

Таблиця 1. Обсяги сільськогосподарських відходів, що утворюються в Україні

Культура	Урожай зерна, млн т	Маса соломи, млн т	Маса зерна/маса соломи
Пшениця	46,9	84,4	1/1,8
Жито	6,6	13,2	1/2,0
Овес	7,7	11,5	1/1,5
Ячмінь	19,5	29,2	1/1,5
Соняшник	2,7	7,6	1/2,8
Кукурудза	0,8	2,0	1/2,5

Таблиця 2. Морфологічний склад соломи різних злакових рослин (мас. %)

Назва	Стебло	Листя	Колос (волоті)
Солома пшениці	57,8-73,1	18,1-30,0	1,0-10,2
Солома жита	65,5-72,5	13,4-29,1	5,1-14,1
Солома рису	32,4-55,7	39,0-49,5	4,4-5,5
Цукрова тростина	60,1-82,8	15,9-38,3	0,5-12,6

За хімічним складом солома та інші види недеревної волокнистої сировини мають певну подібність до деревини [4].

Таблиця 3. Хімічний склад недеревних видів рослинної сировини (мас.% від маси сировини)

Вид сировини	Целюлоза	Лігнін	Пентозани
Солома пшениці	34,8-49,2	24,5	19-30
Солома жита	40,4-49,3	22,9	27,7-28,8

Солома рису	42,9	17,9	27,1
Стебла соняшнику	37,5-40,0	21,3-24,7	18,2

Целюлоза згідно класифікації полімерів відноситься до поліацеталів. Це лінійний гомополісахарид, макромолекули якого побудовані з мономерних ланок ангідро-β-D-глюкопіранози (залишків β-D-глюкози), з'єднаних глікозидними зв'язками 1-4. Целюлоза – стереорегулярний полімер: її ланцюг має певну конфігурацію [5]. Емпірична формула целюлози $(C_6H_{10}O_5)n$, яку з урахуванням трьох гідроксильних груп в елементарній ланці можна подати у вигляді $[C_6H_7O_2(OH)_3]n$. Будова ланцюга молекули целюлози представлена рисунку 1.

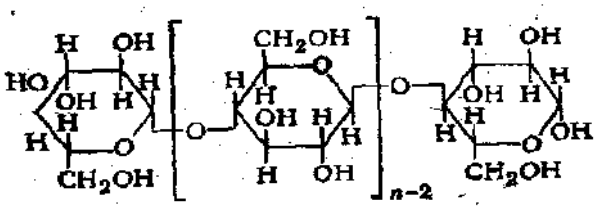


Рис. 1. Будова целюлози.

Целюлоза – полярний полімер. У кожній ланці ланцюга міститься три спиртові групи: одна первинна і дві вторинних, що розрізняються за реакційною здатністю. Кінцеві ланки макромолекули целюлози від інших. В однієї кінцевої ланки макромолекули є додатковий вторинний гідроксил у четвертого атома вуглецю; в іншої кінцевої ланки – вільний глікозидний (напівацетальний) гідроксил. Отже, ця кінцева ланка може існувати в таутомерній альдегідній (відкритій) формі, як показано на рисунку 1.2, і надавати целюлозі редукуючу здатність.

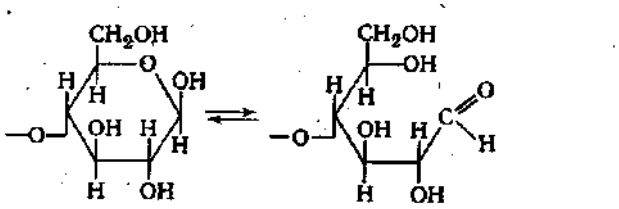


Рис. 2. Таутомерні форми кінцевої ланки.

Целюлоза як полярний гетероланцюговий полімер, для якого характерна сильна внутрішньо- і міжмолекулярна взаємодія, відноситься до жорстколанцюгових полімерів. Проте ланцюги целюлози є абсолютно жорсткими. У неї можливі конформаційні перетворення макромолекул, обумовлені обертанням глюкопіранозних ланок навколо глікозидних зв'язків та конформаційні перетворення ланок [4].

У вуглеводну частину рослинної сировини входить целюлоза та нецелюлозні полісахариди, названі геміцелюлозами. Усю вуглеводну частину, яку можна виділити з рослинної сировини у вигляді волокнистого матеріалу, загалом називають холоцелюлозою.

Геміцелюлози – вуглеводні речовини, які, на відміну від целюлози, більш доступні впливу розведених мінеральних кислот, а також слабких розчинів лугів. До складу геміцелюлоз входять полісахариди, що містять елементарні ланки з п'яти та шести атомів вуглецю, тобто. ланки пентоз та гексоз. Більша частина геміцелюлоз є не однорідними (гомополімерами), а змішаними (комбінованими) полісахаридами (сополімерами), які складаються з залишків різних моносахаридів, з'єднаних глікозидними зв'язками в різних положеннях. Найчастіше у основних ланцюгах присутні зв'язку 1-4. Бічні відгалуження можуть приєднуватися зв'язками 1-2, 1-3 та 1-6. Ланцюги багатьох із них розгалужені. Усі вони нерегулярні. Це унеможливлює кристалізацію геміцелюлоз у деревині і збільшує їх доступність.

Зазвичай у змішаному полісахариді можна виділити головний моносахарид. Крім цього

головного можуть бути ланки інших моносахаридів та уронових кислот, як у головному ланцюзі, так і у вигляді бічних відгалужень. Змішані полісахариди більш правильні, тому називати з урахуванням усіх складових моносахаридів, вказуючи останнім головний моносахарид. Однак у літературі продовжують умовно підрозділяти геміцелюлози на пентозани і гексозани, а також вживати, наприклад, терміни ксилан, манан, відносячи їх до неоднорідних полісахаридів, що містять відповідно ксилозу та манозу як головний моносахарид [5].

Основними функціональними групами геміцелюлоз, як і целюлози, є гідроксильні (спиртові) групи. Одна з кінцевих ланок лінійного ланцюга буде редукуючою. Вона містить вільний глікозидний гідроксил і може існувати у відкритій альдегідній формі [5].

Геміцелюлози за швидкістю гідролітичного розпаду в кислому середовищі поділяють на дві групи: 1) легкогідролізовані, які гідролізуються при дії розведеної кислоти; 2) важкогідролізовані, що гідролізуються разом з целюлозою. Такий поділ пояснюється особливостями надмолекулярної структури целюлози та геміцелюлоз [2].

Целюлоза, що має кристалічну будову (щільну упаковку), важко гідролізується. Більшість геміцелюлоз внаслідок їх аморфної структури та меншої довжини ланцюгів характеризуються нижчою стійкістю до розведених кислот, ніж целюлоза, тобто, легкою здатністю гідролізуватися.

Однак деяку частину геміцелюлоз дуже важко витягти з рослинної сировини та перевести в розчин за допомогою гідролізу. У целюлозі, виділеної будь-яким методом, залишається частина геміцелюлоз, тобто. виявляється, що не геміцелюлози легко гідролізуються. Міцно пов'язана частина геміцелюлоз (ксилан і манан), що залишається в целюлозі, стійка до гідролізу розведеними кислотами, як і целюлоза. Пояснюють це явище такими припущеннями. Ступінь полімеризації геміцелюлоз значно менше, ніж целюлози, і становить 100 – 200. Якщо ці короткі ланцюги геміцелюлоз потрапляють у кристалічні ділянки целюлозного волокна між орієнтованими ланцюгами целюлози, то ця частина геміцелюлоз виявляється важкогідролізуємою. Кислота не може проникнути до них без руйнування целюлозних ланцюгів. Легко гідролізуються ті геміцелюлози, які у вигляді аморфної маси знаходяться або у просторах між целюлозними мікрофібрилами або в аморфній частині целюлози.

Важкогідролізовані геміцелюлози, міцно пов'язані з целюлозою, називають целюлозанами [3]. Для доступу реагентів до геміцелюлозів, що важко гідролізуються, необхідна попередня активація деревини. Хвойні породи містять менше геміцелюлоз (від 20 до 25%) ніж листяні (від 25 до 35%). При цьому у хвойних породах більше гексозанів і менше пентозанів, ніж у листяних. Геміцелюлози хвойних порід мають складніший склад.

Зміст і будова полісахаридів геміцелюлоз зернових злакових культур залежать від ботанічних і морфологічних особливостей тканин, що їх формують. У складі геміцелюлоз цієї сировини знайдені ксилани та в меншій кількості – арабінани, галактани, у мінімальному – манани. Як правило, ці полісахариди побудовані з різних моноз.

Близько 30% рослинної сировини складають речовини ароматичної природи, відомі під назвою лігніну. Лігнін – це ароматична частина рослинної сировини. Вона найменш вивчена. Точна будова лігніну ще невідома, незважаючи на те, що його було відкрито понад 150 років тому.

Лігнін як полімер складається з фенілпропанових структурних одиниць (мономірних складових ланок) [4], що позначаються скорочено C_6-C_3 або одиниці C_9. У хвойному лігніні ці одиниці є похідними пірокатехіну (гваяцилпропанові одиниці I), а в лігніні листяних порід, крім того, містяться похідні пірогалолу (сирингілпропанові одиниці II). До складу лігнінів іноді входять одиниці, що не містять метоксильних груп (n-гідроксифенілпропанові одиниці III). У трав'янистих рослин частки сирингільних та гідроксифенільних одиниць коливаються у широких межах. Структура молекули лігніну представлена на рисунку 3.

Пропанові бічні ланцюги структурних одиниць можуть мати різну будову, залежно від вмісту в них функціональних груп (гідроксильні, карбонільні, карбоксильні, подвійні зв'язки).

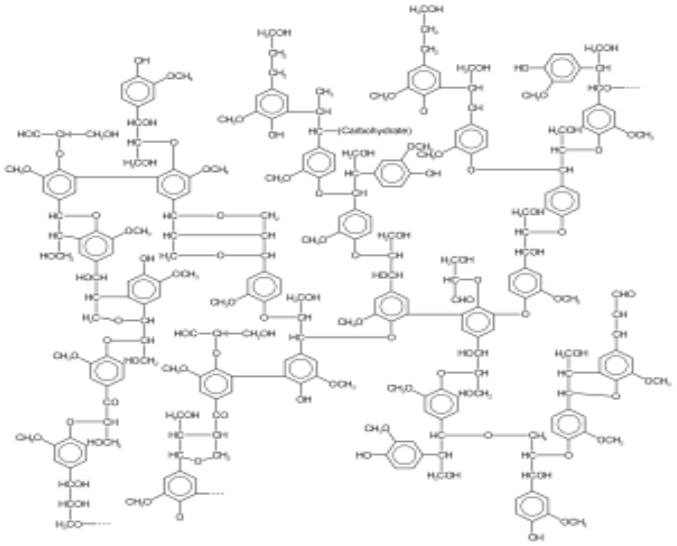


Рисунок 3. Фрагмент молекули лігніну.

Таким чином, будь-який лігнін є кополімером. Гідроксильні групи в лігніні неоднакові – присутні фенольні та аліфатичні у вільному та пов'язаному стані. Карбонільні групи можуть бути альдегідними та кетонними [1]. Кожна молекула мономерних попередників лігніну містить один фенольний гідроксил. Однак у лігнінах масова частка вільних фенольних гідроксилів невелика (від 1% до 3%). Інші фенольні гідроксили перебувають у пов'язаному стані, тобто. беруть участь в утворенні простих ефірних зв'язків між структурними одиницями лігніну та частково зв'язків із геміцелюлозами. Фенольні гідроксильні групи відносяться до кислих гідроксильних груп, причому кислотність залежить від характеру інших заступників у бензольному кільці.

На відміну від полісахаридів у лігніні відсутній єдиний вид зв'язку між структурними одиницями. Навпаки, йому характерне різноманіття зв'язків, у результаті він має макромолекули з високим рівнем розгалуженості. Поряд із вуглець-кисневими (простими ефірними) зв'язками С-О-С присутні і вуглець-вуглецеві зв'язки С-С між ланками. Основна маса природного лігніну в деревині має тривимірну сітчасту структуру.

Лігнін – це аморфний полімер. У ньому завдяки наявності великої кількості гідроксильних та інших полярних груп значно розвинені водневі зв'язки (внутрішньо- та міжмолекулярні). Хвойні породи містять більше лігніну (від 27 до 30%), ніж листяні (від 18 до 24%). Зміст лігніну в однорічних рослин коливається від 20 до 30% [3].

Питання зв'язку лігніну з вуглеводами у рослинній сировині і, зокрема, з геміцелюлозами у лігновуглеводній матриці – одне із складних та повністю ще не вирішене, хоча має багаторічну історію. Спочатку, на підставі результатів мікроскопічних спостережень зразків деревини після видалення або вуглеводів, або лігніну, вважали, що лігнін тісно пов'язаний з вуглеводами, але цей зв'язок чисто механічна, і лігнін є інкрустуючим компонентом (теорія, що інкрустує).

Однак труднощі поділу полісахаридів та лігніну призвели до припущення про існування хімічних зв'язків між лігніном та вуглеводами. Встановили, що для вилучення лігніну з клітинних стінок органічними розчинниками, які розчиняють виділені препарати лігнінів, необхідна присутність каталітичних кількостей сильних мінеральних кислот або вплив гідролізуючих ферментів. Неможливо витягти вуглеводи з деревини без видалення деякої кількості лігніну, ні повністю видалити лігнін без руйнування деякої частини вуглеводів. Препарати виділених холоцелюлози та целюлози, а також технічні целюлози завжди містять більшу або меншу домішку залишкового лігніну, і, навпаки, препарати виділених лігнінів завжди містять домішок вуглеводів [1].

У даний час більшість дослідників дійшли висновку про існування хімічних зв'язків лігніну з геміцелюлозами. Невелика частина низькомолекулярного лігніну, можливо, знаходиться у вільному стані і може вилучатися відповідними розчинниками без кислотних

каталізаторів. Основна ж частина лігніну може бути виділена лише за допомогою порівняно жорстких обробок, що руйнують хімічні зв'язки лігніну з вуглеводами, а й змінюють певною мірою сам лігнін. З целюлозою лігнін, мабуть, не пов'язаний, але разом з геміцелюлозами в ході біосинтезу він може опинитися всередині її мікрофібрил (у паракристалічній частині), і тим самим важко відокремити лігнін від целюлози [4].

1. Крвавич А. С. Екстрагування біологічно активних речовин з біомаси Gladiolus imbricatus, культивованої в умовах in vitro : дис. … канд. техн. наук : 05.17.08. Крвавич Анна Сергіївна; Нац. ун-т "Львів. політехніка". Львів, 2016. 159 с.

2. Маковецька Ю. М. Аналіз особливостей утворення та поводження з відходами на сільських територіях. Київ. 2015. 116 с.

3. Теплові, масообмінні та хімічні процеси у виробництві деревинних плит і пластиків / уклад. М. М. Копанський, С. О. Манзій, О. О. Шепелюк. НЛТУ України : Львів, 2006. 215 с.

4. Хімія рослинних полімерів: навчальний посібник, 2-ге видання перероб. і доповн. / за ред. В. А. Барбаш, І. М. Дейкун. К.: Каравела, 2018. 440 с.

5. Ластухін Ю. О., Воронов С. А. Органічна хімія : підручник. Львів : Центр Європи, 2001. 864 с.

ВИВЧЕННЯ ОСНОВНИХ ЗАКОНОМІРНОСТЕЙ ПРОЦЕСУ ПІРОЛІЗУ ВІДПРАЦЬОВАНОЇ МІНЕРАЛЬНОЇ МОТОРНОЇ ОЛИВИ М-10ДМ

Копач Андрій Миколайович,
аспірант ІІІ курсу, volodymyr.m.yuzyfyshyn@lpnu.ua
Національний університет «Львівська політехніка», Україна

Гринишин Олег Богданович,
доктор технічних наук, професор, oleh.b.hrynyshyn@lpnu.ua
Національний університет «Львівська політехніка», Україна

Нафтові оливи є важливим елементом сучасної технічної інфраструктури, оскільки вони виконують функції змащення, охолодження та захисту рухомих механічних вузлів і агрегатів у транспортних засобах, промисловому устаткуванні та енергетичних системах. Проте у процесі тривалої експлуатації мастильні матеріали зазнають впливу високих температур, механічних навантажень і хімічних реакцій, що призводить до деградації їхніх фізико-хімічних властивостей та утворення відпрацьованих нафтових олив (ВНО). З метою запобігання забрудненню навколишнього середовища необхідно забезпечити екологічно безпечні способи утилізації цих відходів. Серед відомих методів можна виокремити спалювання, повторне використання (рециклінг), а також залучення ВНО як сировини у різних технологічних процесах [1]. Перспективним напрямом вважається регенерація відпрацьованих олив, проте її економічна доцільність не завжди є виправданою [2–3]. Останнім часом значну увагу дослідників привертає метод низькотемпературного піролізу, який дає змогу максимально використати потенціал вуглеводневої структури ВНО [4]. У результаті термічного розкладу таких олив утворюються низькомолекулярні вуглеводні, близькі за складом до компонентів сирої нафти. Таким чином, упровадження піролізної технології дозволяє не лише зменшити обсяг екологічно небезпечних відходів, але й частково знизити залежність від традиційних нафтових ресурсів.

Як сировину для дослідження використовували відпрацьовану мінеральну моторну оливу марки М-10ДМ, злиту з картера дизельного двигуна після завершення нормативного терміну експлуатації. Процес піролізу здійснювали на лабораторній установці періодичної дії, до складу якої входили герметичний металевий реактор, електричний нагрівач, водяний холодильник та приймальний резервуар для збору конденсатів.

Піроліз ВНО марки М-10ДМ проводили за двох температурних режимів: м’який режим – передбачав повільний нагрів реактора з наважкою оливи до кінцевої температури процесу; жорсткий режим – характеризувався інтенсивним нагріванням реактора до робочої температури. За результатами експериментів складено матеріальні баланси процесу піролізу для обох температурних режимів (табл. 1). Вихід піроконденсату за цих умов не перевищував 94,2 % мас. від початкової маси сировини. У реакторі після завершення процесу залишалося до 1,8 % мас. твердого залишку.

Таблиця 1. Матеріальний баланс процесу піролізу відпрацьованої мінеральної моторної оливи М-10ДМ

Сировина і продукти	Температурний режим процесу піролізу	
	М’який	Жорсткий
Взято: ВНО М-10ДМ	100,0	100,0
Отримано: Піроконденсат Залишок Газ і втрати	94,20 1,87 3,93	94,17 1,51 4,32
Всього	100,0	100,0

Для отриманих піроконденсатів було визначено основні експлуатаційні характеристики та фракційний склад відповідно до чинних стандартних методик. Узагальнені результати дослідження наведено в таблиці 2.

Таблиця 2. Характеристика піроконденсатів піролізу відпрацьованої оливи М-10ДМ

Показник	Температурний режим процесу піролізу	
	М'який	Жорсткий
Зовнішній вигляд	В'язкувата прозора рідина світло-коричневого кольору	
Густина, кг/м^3	829	837
Показник заломлення	1,4735	1,4712
Вміст сірки, % мас.	0,202	0,208
Йодне число, г I_2/100 г	51,7	56,4
Температура застигання, °С	<–18	<–18
Температура спалаху у відкритому тиглі, °С у закритому тиглі, °С	 53 31	 54 32

Отримані піроконденсати – це в'язкі рідини світло-коричневого кольору з характерним запахом продуктів термічного розкладу. Вони містять значну кількість ненасичених вуглеводнів, що підтверджується підвищеним значенням йодного числа. Температура застигання зразків становить нижче –18 °С, що свідчить про низький вміст аліфатичних, зокрема парафінових, структур у їхньому складі. Це вказує на потенційно добрі низькотемпературні властивості матеріалу.

Важливою перевагою піроконденсату, отриманого з ВНО М-10ДМ, є висока частка світлих фракцій, що розширює можливості його подальшого використання як сировини для виробництва паливних або нафтохімічних продуктів. Водночас до недоліків належить наявність ненасичених вуглеводнів і сірковмісних сполук, які потребують додаткового очищення шляхом гідрогенізаційних процесів.

Додатково було проведено дослідження складу та характеристик паливних фракцій, виділених із піроконденсату, отриманого в процесі піролізу відпрацьованої оливи марки М-10ДМ. Аналіз показав, що зразки бензинової фракції мають важчий фракційний склад і містять підвищену кількість парафінових вуглеводнів і сірковмісних сполук. Такий склад негативно впливає на їхні детонаційні властивості, зокрема знижує октанове число. Дизельна фракція характеризується високим йодним числом, що свідчить про значну кількість ненасичених сполук, а також підвищеним умістом сірковмісних компонентів. Це зумовлює її схильність до осмолення та утворення нагару у камерах згоряння двигуна, а також сприяє скороченню терміну зберігання. У зразках залишкових фракцій після фракційної перегонки піроконденсату виявлено ненасичені та сірковмісні вуглеводні. Їх можна буде використати для виготовлення консистентних пластичних мастил. Отже, встановлено, що вузькі фракції піроконденсату без проведення додаткових процесів очищення або гідрооблагородження не придатні для безпосереднього використання як компоненти товарних моторних палив.

1. Johnson O., Affam A. Petroleum sludge treatment and disposal: A review. *Environmental Engineering Research,* 2019. 24(2). P. 191-201.

2. Korchak B., Hrynyshyn O., Chervinskyy T., Polyuzhin I. Application of Vacuum Distillation for the Used Mineral Oils Recycling. *Chemistry & Chemical Technology*, 2018. 12(3). P. 365-371.

3. Korchak B., Grynyshyn O., Chervinskyy T., Shapoval P., Nagurskyy A. Thermooxidative Regeneration of Used Mineral Motor Oils. *Chemistry & Chemical Technology*. 2020. 14(1). P. 129-134.

4. Jia H., Zhao S., Zhou X., Qu C., Fan D., Wang C. Low-temperature pyrolysis of oily sludge: roles of Fe/Al-pillared bentonites. *Archives of Environmental Protection*. 2017. 43, P. 82-90.

РОЛЬ ОКИСНО-ВІДНОВНИХ ПРОЦЕСІВ У ТРАВЛЕННІ НАПІВПРОВІДНИКОВИХ МОНОКРИСТАЛІВ

Куліш Анастасія Миколаївна,
здобувач вищої освіти IV курсу, nastick31@icloud.com
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Чайка Микола Володимирович,
кандидат хімічних наук, доцент кафедри хімії, laridae92@gmail.com
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Камінський Олександр Миколайович,
кандидат хімічних наук, доцент кафедри хімії, alexkamin@ukr.net
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Денисюк Роман Олександрович,
кандидат хімічних наук, доцент кафедри хімії, denisuknet@ukr.net
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Свиридюк Катерина Петрівна,
асистент кафедри хімії, svyrydiuk-k@zu.edu.ua
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Травлення поверхні напівпровідникових монокристалів — це одна з ключових стадій підготовки підкладок до подальшої обробки: полірування, гравіювання, нанесення контактів або епітаксійних шарів. У цьому процесі особливе значення мають окисно-відновні реакції, які забезпечують утворення активних поверхневих сполук, кероване видалення поверхневих шарів матеріалу та формування морфології поверхні. Для матеріалів типу $A^{III}B^{V}$ (наприклад, GaAs, InAs, GaSb) та $A^{II}B^{VI}$ (наприклад, CdTe) окисно-відновні процеси відіграють роль активатора розчинення матеріалу, необхідні для регульованого травлення та контролю дефектності поверхні напівпровідника.

Механізм проходження окисно-відновних процесів у травильних системах можна охарактеризувати так:

На першому етапі травлення функціонує окисник (наприклад, H_2O_2, $K_2Cr_2O_7$), який через окиснення атомів металів (Ga, In, Cd, Hg тощо) утворює оксидні або гідроксидні шари на поверхні кристала.

Надалі активовані поверхневі атоми або оксидні шари піддаються впливу кислотного компонента (неорганічна кислота, наприклад HBr), що призводить до їх розчинення чи видалення. Таким чином, окисно-відновна реакція задає шлях утворення розчинного комплексу або іона, що потім вибірково видаляється.

Контроль параметрів окисно-відновних реакцій (концентрація окисника, pH, потенціал, присутність каталізаторів або іонів-лігандів) дозволяє керувати швидкістю травлення, глибиною дефектного шару і морфологією поверхні.

Використання окисно-відновних систем дозволяє зменшити механічні пошкодження поверхні, адже рівномірне розчинення замінює грубе абразивне механічне шліфування. Завдяки контролю кількості окисника і відновника можна забезпечити високу селективність травлення: зменшення нерівностей, мінімалізацію «ямок травлення» кристала, покращення шорсткості поверхні ($R_a < 10$ нм). Окисно-відновне травлення створює умови для зменшеної дефектності поверхневих шарів: менше деструкції кристалічної решітки, зниження залишкових напружень, що є критичним для подальших етапів (епітаксія, нанесення контактів).

Проте існує і ряд обмежень та викликів, зокрема надмірна активність окисника або недостатній контроль часу обробки може спричинити надмірне або нерівномірне видалення матеріалу, що призводить до утворення ямок, мікротріщин або дефектів на поверхні. Склад травильної системи повинен враховувати природу матеріалу: напівпровідники з низькою механічною міцністю або складною кристалічною градкою (наприклад $Cd_xHg_{1-x}Te$) потребують відповідно адаптованих травильних розчинів. Варто наголосити, що підвищені екологічні та технологічні вимоги (токсичність окисників, утворення небажаних продуктів взаємодії) зумовлюють необхідність розробки екологічно безпечних травильних систем.

Окисно-відновні процеси відіграють фундаментальну роль у травленні напівпровідникових монокристалів: вони забезпечують ефективний запуск хімічної обробки поверхні, контролюють якість поверхонь та знижують технологічні дефекти. Раціональний підбір складу, режимів та параметрів процесу травлення є передумовою для отримання поверхонь високої якості, що відповідають вимогам сучасної мікро- та оптоелектроніки.

1. Chayka M. V., Tomashyk Z. F., Tomashyk V. M., Malanych G. P., Korchovyi,A. A. Chemical-mechanical polishing of CdTe, $Zn_xCd_{1-x}Te$ and $CdxHg_{1-x}Te$ single crystal surfaces by $K_2Cr_2O_7$ – HBr – solvent etchants. *Functional Materials*. 2019. 26(2), 412-418. https://doi.org/10.15407/fm26.02.412

2. Павлов С. М., Войцеховська О. В. Технологія мікроелектронних засобів: навчальний посібник. Вінниця: ВНТУ, 2017. 169 с.

3. Li J. Nanocarbon-assisted chemical etching of Ge(100) in H_2O_2. *Electrochemistry Communications*. 2024. 163, Article 107735. https://doi.org/10.1016/j.elecom.2024.107735

4. Helaly A. A., Altalbawy M. A., Youssef G. M. Implications of the HF/H_2O_2 effect on the electrochemical etching formation of macroporous silicon at various etching times. *Applied Physics A*. 2025. 131, 72. https://doi.org/10.1007/s00339-024-08140-z

АДСОРБЦІЯ БАРВНИКІВ АЛЮМІНАТАМИ

Ніколенко Аркадій Олексійович,
здобувач першого (бакалаврського) рівня вищої освіти ІІІ курсу chem@ukr.net
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Поліщук Катерина Юріївна,
здобувач першого (бакалаврського) рівня вищої освіти ІІІ курсу chem@ukr.net
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Камінський Олександр Миколайович,
кандидат хімічних наук, доцент, alexkamin@ukr.net
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Тітов Юрій Олександрович,
доктор хімічних наук, професор, chem@ukr.net
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Денисюк Роман Олександрович,
кандидат хімічних наук, доцент, chem@ukr.net
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Чайка Микола Володимирович,
кандидат хімічних наук, доцент, chem@ukr.net
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Євдоченко Олена Сергіївна,
доктор філософії з галузі знань 01 Освіта/Педагогіка, доцент кафедри хімії, chem@ukr.net
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Алюмінати – це клас складнооксидних матеріалів зі структурою шпінелі, що досить широко використовуються у різних галузях науки і техніки.

Наприклад, ієрархічно пористий бінарний оксид металу $MgAl_2O_4$ шпінелеподібного типу з коконтинуальними скелетами та взаємопов'язаними макропорами був синтезований простим золь-гель методом, що супроводжується фазовим розділенням, в якому полі(етиленоксид) (ПЕО) діє як індуктор фазового розділення, утворюючи фазово розділені макроканали мікрометрового масштабу одночасно з золь-гель переходом. Отримані ксерогелі мають форму моноліту з чітко визначеними макропорами та коконтинуальними щільними скелетами шляхом регулювання кількості ПЕО. Ксерогель та ті, що пройшли термічну обробку при температурі 600 °C або нижче, є аморфними, а термічна обробка при температурі 700 °C або вище дозволяє осадити повну кристалічну шпінель $MgAl_2O_4$ з розміром макропор 0,7-0,9 мкм, пористістю 60-70% та площею поверхні за БЕТ 40-80 м² г⁻¹, без порушення макроструктури монолітів. Три аніонні барвники та два катіонні барвники обрано як цільові адсорбати для дослідження селективної адсорбційної здатності ієрархічно пористої шпінелі $MgAl_2O_4$. Отримана шпінель $MgAl_2O_4$ демонструє високу спорідненість та швидкість адсорбції до аніонних барвників Конго червоного, метилового оранжевого та метилового синього. Максимальна адсорбційна здатність шпінелі $MgAl_2O_4$ до цих трьох аніонних барвників становить 2721,6 мг г⁻¹ для Конго червоного, 2469,7 мг г⁻¹ для метилового оранжевого та 6771,9 мг г⁻¹ для метилового синього відповідно [1].

У роботі [2] досліджено нанокомпозити $ZnAl_2O_4/Al_2O_3$ із різним вмістом $ZnAl_2O_4$ (30, 50 та 70 мас.%), синтезовані в один етап методом золь-гель, які застосовувалися для видалення метиленового синього (МС). Структурні характеристики отриманих матеріалів вивчали за

допомогою методів рентгенівської дифракції (XRD), диференціально-термічного аналізу (DTA), інфрачервоної спектроскопії (FTIR), вимірювання дзета-потенціалу та BET-аналізу. Встановлено, що зразки, отримані золь-гель методом, мають аморфну структуру, а термообробка при 700 °C сприяє утворенню кристалічної цинкалюмінатної шпінелі. Середній розмір кристалів $ZnAl_2O_4$ у зразку з максимальним вмістом (70 мас.%) становив 27 ± 1 нм, а питома поверхня – 70 м²/г. Найвищий ступінь видалення метиленового синього (70%) досягнуто за оптимальних умов: початкова концентрація барвника – 10 мг/л, pH = 8,5, маса адсорбенту – 0,05 г, тип адсорбенту – нанокомпозит $ZnAl_2O_4/Al_2O_3$ із 70 мас.% $ZnAl_2O_4$. Кінетика процесу адсорбції добре описується моделлю псевдо-другого порядку.

Отже, алюмінати відіграють важливу роль у процесах адсорбції барвників.

1. Guo X., Yin P., Kanamori K., Nakanishi K. Sol–gel preparation of hierarchically porous magnesium aluminate (MgAl2O4) spinel monoliths for dye adsorption. *Journal of Sol-Gel Science and Technology*. 2018. Vol. 88. https://doi.org/10.1007/s10971-018-4781-0

2. Saffar A., Ahangar H. A., Salehi S., et al. Synthesis of novel $ZnAl_2O_4/Al_2O_3$ nanocomposite by sol-gel method and its application as adsorbent. *J Sol-Gel Sci Technol*. 2021. Vol. 99. P. 158-168. https://doi.org/10.1007/s10971-021-05559-1

СКЛАД ТА ВЛАСТИВОСТІ ТВЕРДИХ НАФТОВИХ ВІДКЛАДІВ

Німець Павло Олегович,
аспірант ІІ курсу, pavlo.o.nimets@lpnu.ua
Національний університет «Львівська політехніка», Україна

Гринишин Олег Богданович,
доктор технічних наук, професор, oleh.b.hrynyshyn@lpnu.ua
Національний університет «Львівська політехніка», Україна

Під час видобутку нафти, особливо з родовищ, де сировина містить значну кількість парафінів, а також у процесах її транспортування та зберігання, відбувається утворення твердих нафтових відкладів (ТНВ). Основу цих відкладів становлять високомолекулярні тверді вуглеводні, до складу яких входять також смолисті речовини, асфальтени, рідкі вуглеводні, вода, мінеральні домішки (пісок, глина) та солі. За результатами досліджень встановлено, що на кожну тонну видобутої нафти утворюється до 5 кг ТНВ. Незважаючи на значні обсяги накопичення цих відходів, раціональне використання ТНВ досі не знайдено, що призвело до накопичення відходів у відстійниках і сховищах. Такі нагромадження становлять потенційне джерело забруднення навколишнього середовища. У зв'язку з цим створення нових, енергетично та економічно обґрунтованих технологій переробки ТНВ з метою раціонального використання продуктів їх переробки є актуальним науково-технічним завданням.

У межах проведених досліджень було вивчено склад твердих нафтових відкладів, утворених на нафтовому промислі м. Борислава Львівської області (табл. 1), а також проаналізовано характеристики органічної частини ТНВ (табл. 2). Для цього проаналізовано п'ять зразків, відібраних у різних місцях складування відходів, що дозволило отримати репрезентативну вибірку для оцінки їх властивостей.

Таблиця 1. Склад твердих нафтових відкладів з нафтового промислу

Фаза	Вміст в ТНВ, % мас.
Вода	5,2-8,6
Механічні домішки	8,9-22,3
Органічна частина	85,9-69,1

Таблиця 2. Характеристика органічної частини ТНВ з нафтового промислу

Показник	Значення показника
Густина при 20°С, г/см^3	926-957
Вміст механічних домішок, % мас.	0,2-0,5
Вміст води, % мас.	0,3-0,6
Вміст сірки, % мас.	0,37-0,51
Температура застигання, °С	24-31
Температура спалаху, °С	246-289
Коксівність, % мас.	3,9-7,6
Зольність, % мас.	0,21-0,37
Фракційний склад: до 200 °С випікає, % мас. до 350 °С випікає, % мас.	 0,8-2,4 8,4-17,5

Результати досліджень стануть основою для розроблення нового науково обгрунтованого та економічно доцільного методу переробки твердих нафтових відкладів.

МІЖЧАСТИНКОВІ ВЗАЄМОДІЇ ТА КОЛИВАЛЬНІ СПЕКТРИ В ІОН-МОЛЕКУЛЯРНИХ СИСТЕМАХ НА ОСНОВІ ЙОННИХ РІДИН ТА ДИМЕТИЛСУЛЬФОКСИДУ

Новосельцев Іван Миколайович,
аспірант, novivan2000@gmail.com
Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна, Україна

Константинова Анастасія Сергіївна,
провідний інженер, konstantynova@karazin.ua
Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна, Україна

Калугін Олег Миколайович,
кандидат хімічних наук, професор, onkalugin@karazin.ua
Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна, Україна

Іонні рідини (ІР) типу 1-бутил-3-метилімідазолію солей (BmimX) становлять інтерес як перспективні неводні розчинники та компоненти електролітних систем завдяки їх низькому тиску насиченої пари, високій термічній стабільності та здатності утворювати стійкі асоціати з полярними розчинниками. Вивчення міжчастинкових взаємодій у таких системах є важливим для розуміння сольватаційних процесів та передбачення властивостей розчинів.

Метою роботи було встановлення закономірностей впливу складу бінарних сумішей 1-бутил-3-метилімідазолій тетрафтороборату з диметилсульфоксидом (BmimBF$_4$/DMSO) і 1-бутил-3-метилімідазолій ацетату з диметилсульфоксидом (BmimOAc/DMSO) (Рис. 1) на характер та силу іон-молекулярних і іон-іонних взаємодій з використанням методу коливальної спектроскопії.

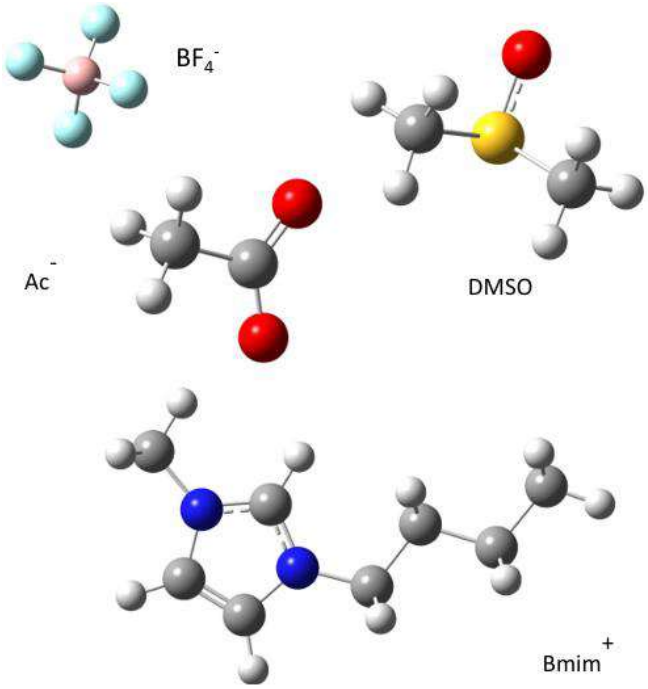


Рис 1. Об’єкти дослідження: катіон 1-бутил-3-метилімідазолію, диметилсульфоксид та аніони ацетат і тетрафтороборат.

ІЧ-спектри реєстрували методом Фур'є ІЧ-спектроскопії в режимі порушеного повного внутрішнього відбиття на спектрометрі Thermo Scientific Nicolet iS5 при кімнатній температурі. Досліджено серії розчинів у діапазоні концентрацій 0.2122–2.7109 моль/дм³ для $BmimBF_4$ та 0.2703–3.6762 моль/дм³ для BmimOAc. Оглядові спектри сумішей BmimOAc/DMSO та $BmimBF_4$/DMSO в інтервалі 500-4000 $см^{-1}$ наведені на рис. 2

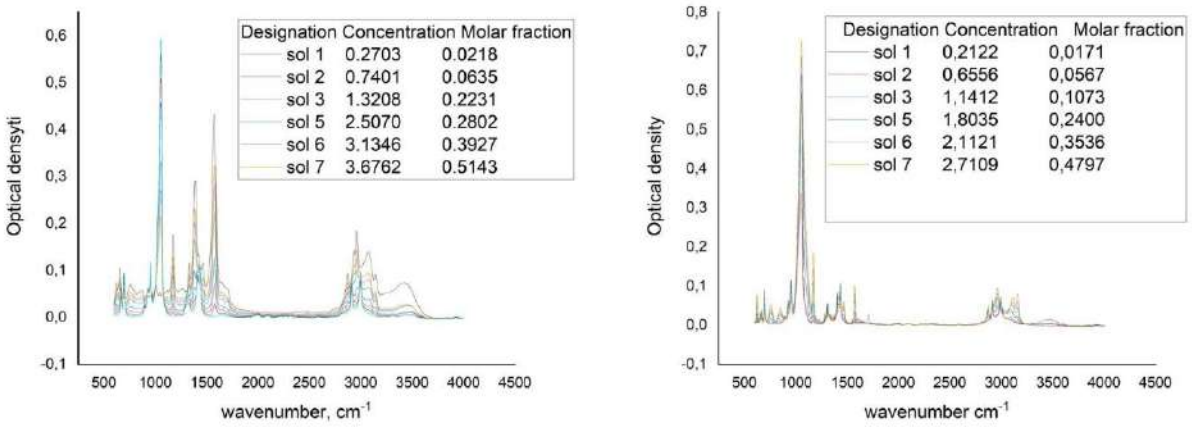


Рис 2. Оглядові спектри сумішей BmimOAc/DMSO (зліва) та $BmimBF_4$/DMSO (справа) відповідно.

Аналіз контурів спектрів здійснено шляхом апроксимації функцією Фойгта, що дозволило виділити індивідуальні компоненти складних смуг у ділянках валентних коливань S=O, C–H і C=O. У ділянці 1000–1070 $см^{-1}$ (валентні коливання S=O-групи DMSO), зі зростанням концентрації іонних рідин, спостерігалося поступове зміщення максимуму поглинання з ~1058 $см^{-1}$ до ~1044 $см^{-1}$, що свідчить про посилення водневого зв'язку між молекулами DMSO та іонами. Для системи BmimOAc–DMSO зсув був більш вираженим (до ~1040 $см^{-1}$), ніж для $BmimBF_4$–DMSO, що вказує на сильніші сольватаційні ефекти за участю ацетат-аніону. У ділянці 3100–3200 $см^{-1}$, що відповідає валентним коливанням C–H-груп імідазольного кільця, спостерігалося диференційне зміщення смуг C^2–H (~3120 $см^{-1}$) і $C^{4,5}$–H (~3160 $см^{-1}$). Зі збільшенням концентрації $BmimBF_4$ червоне зміщення смуги C^2–H становило 3–5 $см^{-1}$, тоді як у системі з BmimOAc воно досягало 7–9 $см^{-1}$, що свідчить про сильніше залучення C^2–H-групи до водневого зв'язування з аніоном OAc^- і молекулами DMSO. У спектрах області 1550–1750 $см^{-1}$ виявлено смугу близько 1680 $см^{-1}$, характерну для коливань C=O ацетат-аніону, інтенсивність якої зростає зі збільшенням концентрації BmimOAc, що додатково підтверджує утворення стійких комплексів із DMSO. Порівняння систем показало, що в BmimOAc–DMSO взаємодії мають більш іон-молекулярний характер із переважанням водневих зв'язків, тоді як у $BmimBF_4$–DMSO домінують слабші електростатичні та іон-іонні контакти.

Отримані результати дозволили встановити, що найбільш здатною до міжчастинкових взаємодій є C^2–H-група імідазольного кільця, а ацетат-аніон виступає сильнішим донором водневого зв'язку порівняно з тетрафтороборатом. Це визначає більшу стабільність та впорядкованість сольватних оболонок у системі BmimOAc/DMSO.

Подяка

Автори висловлюють подяку Міністерству освіти і науки України за фінансову підтримку дослідження за грантом № 0121U112886.

1. Katsyuba S. A., Grimme S. Structure and intermolecular interactions in ionic liquid 1-ethyl-3-methylimidazolium bromide and its aqueous solutions investigated by vibrational spectroscopy and

quantum chemical computations. *Journal of Computational Chemistry*. 2024.

2. Synthesis, NMR, IR, Raman spectra and DFT calculations of 1-octyl-1,4-diazabicyclo [2.2.2] octan-1-ium bis(trifluoromethylsulfonyl)imide / B. Haddad et al. *Journal of Molecular Structure*. 2023. P. 135792.

3. Mahmood R. Y., Kareem A. A., Polu A. R. Synthesis and Characterization of Polyaniline / [BMIM][BF4] Polyionic Liquid by Interfacial Polymerization. *Iraqi Journal of Science.* 2024. P. 4325–4335.

4. Ganesh I. BMIM-BF_4 RTIL: Synthesis, Characterization and Performance Evaluation for Electrochemical CO_2 Reduction to CO over Sn and $MoSi_2$ Cathodes. *C. Journal of Carbon Research*. 2020. Vol. 6, no. 3. P. 47.

ФІЗИКО-ХІМІЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ШПІНЕЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ

Олексюк Олена Юріївна,
здобувач другого (магістерського) рівня вищої освіти ІІ курсу chem@ukr.net
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Камінський Олександр Миколайович,
кандидат хімічних наук, доцент, alexkamin@ukr.net
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Денисюк Роман Олександрович,
кандидат хімічних наук, доцент, chem@ukr.net
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Віленський Володимир Олексійович,
доктор хімічних наук, професор, chem@ukr.net
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Панасюк Дмитро Юрійович,
судовий експерт, асистент кафедри хімії dima.panasuk261195@gmail.com
Житомирський науково-дослідний експертно-криміналістичний центр МВС України
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Анічкіна Олена Василівна,
кандидат педагогічних наук, доцент, завідувач кафедри chem@ukr.net
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Фізико-хімічні дослідження синтетичних складнооксидних матеріалів є основою для підтвердження їх структури, морфології, визначення розмірів кристалітів та інших важливих характеристик [1-2].

Метою даної роботи є провести розрахунки середніх розмірів кристалітів кобальтового фериту методом Шеррера на основі даних рентгенівської дифракції.

Дифракційні картини кобальтового фериту реєстрували за допомогою рентгенівського дифрактометра ДРОН-3М (випромінювання міді, лінія Kα, λ = 0,1540 нм). Отримані XRD дифрактограми проаналізовано за допомогою програмного забезпечення «MATCH!4».

Для розрахунку середнього розміру кристалітів $CoFe_2O_4$ для характеристичних піків при кутах 2θ використано формулу Шеррера [3]:

$$D=K\lambda/\beta\cos\theta$$

де D – середній розмір частинок, нм; K – константа Шеррера, яка для кристалічних систем має середнє значення 0,92; λ – довжина хвилі рентгенівського випромінювання (лінія Kα = 0,1540 нм); β – кутова напівширина дифракційного максимуму за характерних індексів Міллера (hkl) для кристалічної решітки; θ – кут рентгенівської дифракції.

На рис. 1 показано дифрактограму зразку $CoFe_2O_4$.

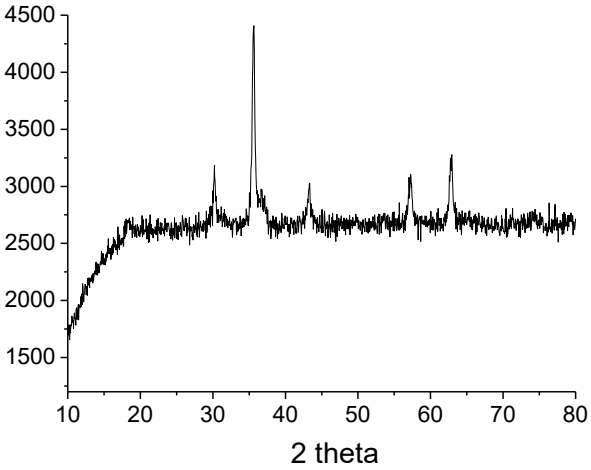


Рис.1. Дифрактограма зразку $CoFe_2O_4$

Розраховано, що середній розмір частинок $CoFe_2O_4$ за даними рентгенівської дифракції становить 14,5 нм. Це означає, що золь-гель цитратний синтез дозволяє одержувати нанорозмірний кобальтовий ферит.

1. Ali Z., Luma A., Rajaa M. Synthesis of Inverse Spinel Nickel Ferrite Like-Broccoli Nanoparticle and Thermodynamic Study of Photo-decolorization of Alkali Blue 4B dye. *Journal of Nanostructures*. 2022. Vol. 12. P. 697-710. https://doi.org/10.22052/JNS.2022.03.022.

2. Salih S. J., Mahmood W. M. Review on magnetic spinel ferrite (MFe_2O_4) nanoparticles: From synthesis to application. *Heliyon*. 2023. Vol. 9, Is. 6. P. 1-5. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e16601.

3. Shehata M. M., Waly S. A., Abdelaziz Y. A. Effect of Gd^{3+} doping on structural and optical properties of $MgO–MgAl_2O_4$ nanocomposites synthesized via co-precipitation method. *J Mater Sci: Mater Electron*. 2021. Vol. 32. P. 7423-7430. https://doi.org/10.1007/s10854-021-05455-y.

КВАНТОВІ ЕФЕКТИ В НАНОРОЗМІРНОМУ МАГНЕТИТІ

Поліщук Олена Андріївна,
здобувач І курсу другого (магістерського) рівня вищої освіти, a.serediuk777@gmail.com
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Омельчук Юлія Олександрівна,
здобувач І курсу другого (магістерського) рівня вищої освіти, juliaom04@gmail.com
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Кусяк Наталія Володимирівна,
кандидат хімічних наук, доцент, nkusyak@ukr.net
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Нанорозмірні структури демонструють кардинально відмінні властивості порівняно з їхніми макророзмірними аналогами, оскільки в таких структурах домінують квантові ефекти, які впливають на зміни фізичних, механічних, оптичних та хімічних властивостей матеріалу, включаючи хімічну реакційну здатність, електропровідність, магнітну проникність, температуру топлення, флуоресценцію тощо. Серед таких структур важливе місце належить оксидам металів, зокрема оксидам ферума.

Квантові ефекти в магнетиті, виникають внаслідок обмеження руху електронів та спінів що веде і призводить до унікальних магнітних властивостей, таких як суперпарамагнетизм та посилення ефектів магнітного резонансу, утворення дискретних, квантованих енергетичних рівнів замість безперервних смуг, що спостерігаються в об'ємних матеріалах.

Магнітні властивості магнетиту визначаються його кристалічною структурою. А саме, впорядкування магнітних спінових моментів катіонів Fe^{n+} в кристалічній решітці відбувається завдяки спеціальній взаємодії між електронами 3d-оболонки сусідніх катіонів. Впорядкування магнітних спінових моментів призводить до загального магнітного впорядкування в магнетиті. Магнетит має магнітокристалічну анізотропію, окремий випадок магнітної анізотропії, пов'язаний зі спін-орбітальним зв'язком. Магнітокристалічна анізотропія залежить від кристалічної структури, форми та хімічного складу магнетиту та відіграє вирішальну роль у магнітному впорядкуванні магнетиту. Унікальні магнітні та структурні властивості магнетиту, порівняно, наприклад, з феритами, визначаються також наявністю так званих вільних електронів.

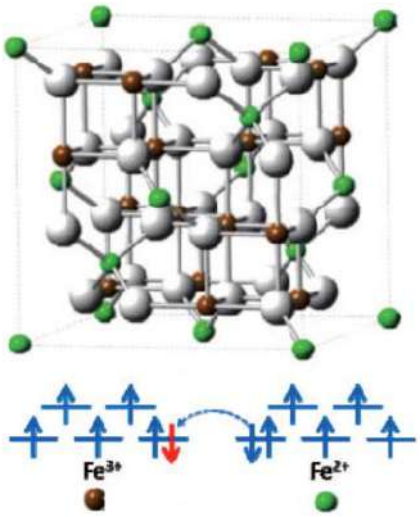


Рис. 1. Візуалізація елементарної комірки магнетиту

Так, 3d-перенос електронів відбувається в октаедричній парі катіонів Fe^{2+} – Fe^{3+} , яку можна коротко описати як Fe^{2+} ($3d^6$) ↔ Fe^{3+} ($3d^5$). Концентрація вільних електронів у

магнетиті висока порівняно зі шпінельними феритами, які мають подібні структури решітки, і таким чином робить значний внесок у формування його магнітних властивостей [1].

Квантовий розмірний ефект, який виникає призводить до значних змін властивостей матеріалу, включаючи: магнітні властивості (дискретні енергетичні рівні та обмеження можуть впливати на магнітну сприйнятливість і вводити унікальну магнітну поведінку), оптичні властивості (зміни енергетичних рівнів електронів через обмеження можуть змінити оптичні властивості матеріалу, такі як його колір, який може змінюватися з розміром через поверхневий плазмонний резонанс). Зокрема, суперпарамагнетизм є формою магнетизму, яка спостерігається в дуже малих феромагнітних або феримагнітних наночастинках (d ~ 3–50 нм). У цьому стані, незважаючи на те, що температура матеріалу нижча за його температуру Кюрі, теплова енергія є достатньою, щоб спричинити випадкову зміну напрямку намагніченості всієї наночастинки. Це явище є квантовим ефектом, що виникає внаслідок конкуренції між тепловою енергією та енергією магнітної анізотропії. Зі зменшенням розміру частинок електрони та спіни утримуються в невеликому просторі, що може призвести до появи дискретних енергетичних рівнів, подібних до квантових точок. Це призводить до збільшення ширини забороненої зони та зміни інших фізичних властивостей.

Нанорозмірний магнетит демонструє покращені властивості магнітного резонансу, що робить його придатним для створення контрастних речовин для МРТ. Оскільки зі зменшенням розміру частинок Fe_3O_4 співвідношення кількості атомів (площі) поверхні до кількості атомів об'єму зростає, це впливає на загальні магнітні властивості та реакційну здатність частинок. Поєднання магнітних та флуоресцентних властивостей в наночастинках магнетиту з квантовими точками дозволяє використовувати їх для 2D та внутрішньоклітинної візуалізації.

1. de Jesus, S., Andrade, R., Fidelis, R. et al. Magnetite: Properties and applications – A review. *J. Magn. Magn. Mater.* 2025. V. 614. 172770. https://doi.org/10.1016/j.jmmm.2025.172770

РЕОЛОГІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ БІТУМУ, МОДИФІКОВАНОГО ДОБАВКАМИ НА ОСНОВІ ПАР

Поляк Ольга Євгенівна,
аспірант, olha.y.poliak@lpnu.ua
Національний університет «Львівська політехніка», Україна

Гунька Володимир Мирославович,
доктор технічних наук, доцент, професор, olha.y.poliak@lpnu.ua
Національний університет «Львівська політехніка», Україна

Сучасні вимоги до дорожнього будівництва передбачають використання високоякісних, довговічних та екологічно безпечних в'яжучих матеріалів. Бітум, як основний компонент асфальтобетону, повинен забезпечувати стабільність покриття в умовах широкого температурного діапазону та інтенсивного механічного навантаження. Традиційні модифікатори, хоч і підвищують експлуатаційні характеристики бітуму, мають низку недоліків: високу вартість, обмежену екологічну безпеку та залежність від нафтопродуктів.

У зв'язку з цим зростає інтерес до використання добавок на основі відновлюваної сировини – зокрема, жирних кислот, рослинних олій та їх амідних похідних – як екологічно чистих і функціонально ефективних модифікаторів. Такі сполуки не лише зменшують вплив на довкілля, а й покращують реологічні властивості бітуму, знижують його температурну чутливість, підвищують деформаційну стійкість та сприяють кращому зчепленню з мінеральними матеріалами. Тому дослідження впливу біодобавок на основі поверхнево-активних речовин (ПАР) на реологічну поведінку бітуму є актуальним і перспективним напрямом [1-2].

Реологічні властивості бітуму, модифікованого біодобавками, визначали за допомогою динамічного зсувного реометра (Dynamic Shear Rheometer, DSR), відповідно до стандартів Superpave. Для в'яжучих було визначено PG, що ключовим етапом у системі класифікації Superpave, яка дозволяє встановити придатність бітумного в'яжучого до використання в конкретних кліматичних умовах та за визначених навантажень [3].

Випробування проводили в режимі контрольованого навантаження або деформації, фіксуючи зміни параметрів при поступовому підвищенні температури. Основними досліджуваними параметрами були:

– Комплексний модуль (G*/sin(δ)), який характеризує який характеризує жорсткість та опір бітуму до деформацій зсуву при високих температурах і використовується для оцінки колієстійкості дорожнього покриття;

– Фазовий кут (δ), який відображає співвідношення між в'язкою і пружно-еластичною складовими деформації.

Для проведення досліджень було використано нафтовий дорожній бітум марки БНД 70/100, отриманий із ПАТ «Укртатнафта» (м. Кременчук), а також бітумні зразки, модифіковані добавками на основі поверхнево-активних речовин рослинного походження. У дослідженні розглядалися два типи модифікаторів:

1) РО-АД – добавка, синтезована на основі рослинної олії та поліетилполіаміну (ПЕПА);

2) ВЖК-АД – добавка на основі вищих жирних кислот та ПЕПА.

У складі обох добавок вміст поліетилполіаміну становив 20 % мас. Модифікування бітуму здійснювалося шляхом введення 0,4 % мас. кожної з добавок до складу бітумного в'яжучого за температури 150 °С, перемішування 1000 об./хв та впродовж 30 хв.

На рис. 1 зображено результати реологічних випробувань бітумів, модифікованих добавками РО-АД і ВЖК-АД, у порівнянні з немодифікованим бітумом марки БНД 70/100.

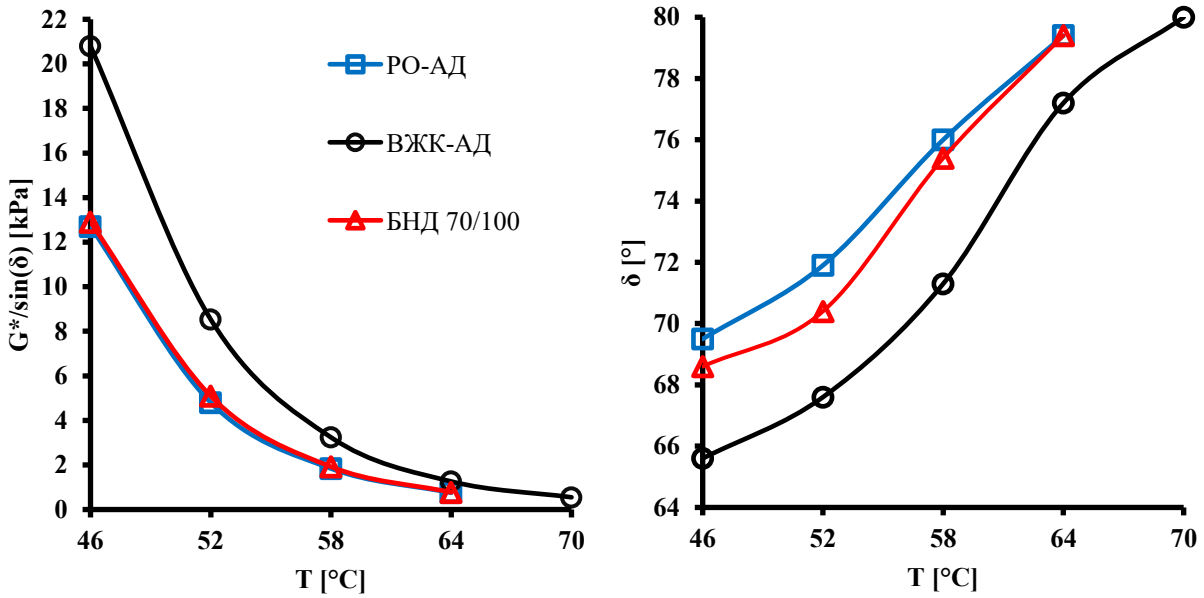


Рис. 1. Реологічні властивості бітуму БНД 70/100 та бітумів, модифікованих добавками на основі ПАР (РО-АД, ВЖК-АД)

Результати досліджень показали, що додавання РО-АД практично не змінює реологічні властивості бітуму марки БНД 70/100, тоді як введення добавки ВЖК-АД сприяє підвищенню значення G*/sin(δ) та зменшенню фазового кута δ. Зростання G*/sin(δ) свідчить про посилення жорсткості матеріалу та кращу стійкість до деформацій зсуву при високих температурах, що, ймовірно, зумовлено хімічними перетвореннями між компонентами системи ВЖК-АД/бітум. Зменшення фазового кута δ вказує на зростання в'язкої складової, а не пружної. Добавка РО-АД також демонструє позитивний вплив на реологічні характеристики, хоча й менш виражений. За класифікацією Superpave, вихідний бітум БНД 70/100 і зразок з РО-АД відповідають марці PG 58, тоді як модифікований ВЖК-АД бітум відповідає рівню PG 64, що свідчить про його вищу термостійкість і стійкість до колієутворення.

1. Gunka, V., Poliak, O., Hrynchuk, Y., Stadnik, V., Demchuk, Y., Besaha, K., Galkin, A., Pyrig, Y. Sustainable Bitumen Modification Using Bio-Based Adhesion Promoters. *Sustainability*, 2025. 17 7187.

2. Nadirov, R.; Ketegenov, T.; Batkal, A.; Kalugin, S.; Teltayev, B.; Caputo, P.; Rossi, C.O.; Kamunur, K.; Assylkhanov, Z.; Osserov, T. Sustainable adhesion additive improving road bitumen properties with rapeseed oil waste. *Sustainability*, 2025, 17, 1472.

3. AASHTO T 315-12. Стандартний метод випробування для визначення реологічних властивостей бітумного в'яжучого за допомогою динамічного зсувного реометра (DSR). Американська асоціація державних дорожніх і транспортних чиновників. Вашингтон, Округ Колумбія, 2012.

СКЛАД І ПРИЗНАЧЕННЯ ОСНОВНИХ КОМПОНЕНТІВ ТРАВИЛЬНИХ РОЗЧИНІВ ДЛЯ ОБРОБКИ ПОВЕРХНІ НАПІВПРОВІДНИКІВ

Протасевич Яна Миколаївна,
здобувач вищої освіти IV курсу, protasevichyana19@gmail.com
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Чайка Микола Володимирович,
кандидат хімічних наук, доцент кафедри хімії, laridae92@gmail.com
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Камінський Олександр Миколайович,
кандидат хімічних наук, доцент кафедри хімії, alexkamin@ukr.net
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Денисюк Роман Олександрович,
кандидат хімічних наук, доцент кафедри хімії, denisuknet@ukr.net
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Процес хімічного травлення напівпровідників є одним із ключових етапів технологічної підготовки зразків до подальших операцій — полірування, нанесення плівок, легування тощо. Його мета полягає у видаленні поверхневих оксидів, механічних і хімічних домішок, дефектних шарів, а також у стабілізації мікрорельєфу поверхні. Це особливо важливо для напівпровідникових матеріалів типу $A^{III}B^{V}$ (GaAs, InAs, GaSb, InSb), які є основою сучасної оптоелектроніки та інфрачервоної техніки.

Для досягнення контрольованого й відтворюваного процесу травлення важливим є правильний вибір складу травильного розчину, який визначає механізм хімічної взаємодії з матеріалом. Різні компоненти системи — окисники, неорганічні кислоти, органічні ліганди — виконують взаємодоповнюючі функції, що забезпечують не лише видалення матеріалу, а й формування якісної, гладкої та бездефектної поверхні. Комплексне розуміння ролі кожного реагенту дозволяє керувати процесом на мікрорівні та запобігати появі структурних дефектів.

Основними компонентами травильних розчинів є:

Окисник (H_2O_2, HNO_3) – виконує роль ініціатора окиснення поверхні напівпровідника, переводячи атоми елементів (Ga, In, Sb тощо) у вищі ступені окиснення. Утворені оксидні плівки є проміжною стадією, яка полегшує подальше розчинення матеріалу в присутності кислотного компонента.

Неорганічна кислота (HCl, HBr) є основним травильним агентом, який розчиняє утворені оксиди або безпосередньо реагує з атомами напівпровідникового матеріалу. Вибір кислоти визначає селективність і швидкість травлення, що впливає на рівномірність і якість поверхні.

Органічний розчинник ($C_4H_6O_6$, $C_6H_8O_7$) виконує функцію комплексоутворювача (ліганда), який зв’язує катіони металів у розчині, стабілізує процес травлення, знижує швидкість реакції до контрольованого рівня, зменшує ризик утворення «ямок травлення» та сприяє формуванню рівної, гладкої поверхні.

Вода використовується як розчинник, який забезпечує транспорт реагентів та продуктів реакції, регулює концентрацію, температуру та теплообмін у системі.

Таким чином, кожен із компонентів виконує чітко визначену роль, а їхнє поєднання утворює динамічну систему, в якій рівновага між окисненням, розчиненням і комплексоутворенням визначає кінетику процесу. Зміна концентрацій навіть одного з реагентів може істотно вплинути на механізм травлення та морфологію поверхні. Саме тому практичні параметри проведення процесу — температура, час і співвідношення компонентів — підбираються експериментально для кожного конкретного матеріалу.

Швидкість і якість травлення залежать від співвідношення компонентів, температури, інтенсивності перемішування розчину, часу процесу травлення та природи кристалу.

Для сполук типу $A^{III}B^{V}$ добре зарекомендували себе травники на основі водних розчинів системи $H_2O_2 – HBr – C_4H_6O_6$, які забезпечують м'яке, контрольоване полірування з мінімальним пошкодженням кристалічної структури. Збільшення вмісту органічної кислоти зменшує швидкість процесу та покращує якість обробленої поверхні.

Правильний вибір складу травильного розчину є балансом між ефективністю видалення поверхневих шарів матеріалу і збереженням якості поверхні. Оптимізація умов травлення (співвідношення реагентів, температура, тривалість) дозволяє досягти стабільності процесу та знизити кількість дефектів на мікрорівні.

Таким чином, знання хімічної природи та функцій кожного компоненту травильного розчину є основою для раціональної розробки технологій хімічної обробки поверхонь напівпровідникових матеріалів, що визначає якість кінцевих приладів електронної техніки.

1. Павлов С. М., Войцеховська О. В. Технологія мікроелектронних засобів: навчальний посібник. Вінниця: ВНТУ, 2017. 169 с.

2. Томашик З. Ф., Шелюк І. О., Чайка М. В., Томашик В. М. Хімічне розчинення монокристалів GaAs, InAs, InAs(Sn), GaSb та InSb у травильних композиціях H_2O_2 – HBr – тартратна кислота. *Питання хімії та хімічної технології*. 2020. (4), 163-171.

3. Фреїк Д. М., Чобанюк В. М., Готра,З. Ю., та ін.; за заг. ред. Д. М. Фреїка. Фізика процесів у напівпровідниках та елементах електроніки: курс лекцій. Івано-Франківськ: Видавництво Прикарпатського національного університету імені Василя Стефаника, 2020. 263 с.

ПЕРЕРОБЛЕННЯ ПОЛІСТИРОЛЬНИХ ВІДХОДІВ НИЗЬКОТЕМПЕРАТУРНИМ ПІРОЛІЗОМ

Радух Андрій Ярославович,
здобувач доктора філософії, andrii.y.radukh@lpnu.ua
Національний університет «Львівська політехніка», Україна

Червінський Тарас Ігорович,
кандидат хімічних наук, доцент, taras.i.chervinskyi@lpnu.ua
Національний університет «Львівська політехніка», Україна

Гринишин Ксенія Олегівна,
доктор філософії, м.н.с., kseniia.o.hrynyshyn@lpnu.ua

У сучасному світі полімерні матеріали, зокрема пластики, відіграють винятково важливу роль у побуті, промисловості та транспортуванні. Їх легкість, стійкість до корозії, доступна ціна і універсальність використання зробили їх незамінними. Однак разом із цим зростає й масштаб проблеми пластикових відходів. Згідно з оцінками, лише невелика частина полімерів, що коли-небудь були вироблені, дійсно піддається повторній переробці, тоді як більша частина накопичується на полігонах, потрапляє в навколишнє середовище або спалюється [1, 2].

Проблема посилюється тим, що перероблення пластиків стикається зі значущими технічними, економічними й інфраструктурними бар'єрами. Серед них – розмаїття типів полімерів і великі обсяги забруднених чи змішаних матеріалів, що ускладнює сортування й знижує якість вторинного продукту; високі витрати на логістику, очищення й переробку; недостатній попит на продукцію з вторинної сировини; а також нерозвинена система збору та стимулювання переробки у багатьох країнах [1, 2].

У контексті України ця проблема набуває особливого значення. Існує значна кількість пластикових відходів із обмеженими можливостями переробки: матеріали з високим рівнем забруднення чи змішаних складом часто є економічно неефективними для рециклінгу [1, 2].

Серед методів утилізації полімерних відходів найчастіше використовуються спалювання [3] та рециклінг (переробка для повторного використання) [4, 5], переробка методами високотемпературного та низькотемпературного піролізу з метою одержання газоподібних та рідких продуктів розкладу [6-8]. У більшості випадків піроконденсат піролізу полімерних відходів пропонується використовувати як компонент котельного чи пічного палива, що знижує ефективність та економічну доцільність такої переробки [9]. На наш погляд, доцільно розробляти напрям одержання на основі таких відходів компонентів моторних палив.

Аналіз джерел інформації щодо виробництва і споживання полімерів у світі свідчить, що найбільша кількість припадає на поліетилен, поліпропілен та полістирол. Термічна утилізація поліетилену та поліпропілену низькотемпературним піролізом описана у джерелах літератури [10, 11], водночас, інформація про піроліз полістиролу зустрічається вкрай рідко, що свідчить про недостатню вивченість його термічної утилізації. Саме тому метою наших досліджень було вивчення процесу піролізу відходів полістиролу.

Для вивчення процесу низькотемпературного піролізу полімерних відходів використовували відходи полістиролу – перемелені плити електротехнічного призначення, характеристика яких подана у таблиці 1.

Процес низькотемпературного піролізу відходів полістиролу проводили на лабораторній установці, до складу якої входив металевий герметичний реактор, обладнаний електричним нагрівачем та термопарою, водяний холодильник та колба-приймач.

Процес розділення отриманого піроконденсату піролізу полістирольних відходів на паливні фракції проводили на класичній лабораторній установці для розділення світлих нафтопродуктів, яка складається з колби, колбонагрівача, водяного холодильника і приймачів

для збору вузьких фракцій.

Таблиця 1. Характеристика відходів полістиролу

Параметр	Показник
Колір	темно-сірий
Густина, кг/м^3	1035
Температура плавлення, °С	174
ПТР (210°С; 5кг), г/10хв.	5,6
Твердість за Брінелем, НВ, МПа	130

Аналізи піроконденсату та виділених фракцій виконувалися за загальноприйнятими стандартизованими методиками.

За встановлених умов здійснення низькотемпературного піролізу полістирольних відходів було отримано піроконденсат коричневого забарвлення з характерним запахом стиролу та продуктів термічної деструкції, характеристика якого подана у таблиці 2.

Таблиця 2. Характеристика піроконденсату піролізу відходів полістиролу

Показник	Значення
Густина, кг/м^3	835
Показник заломлення, n_D^{20}	1,5397
Вміст загальної сірки, % мас.	0,006
Йодне число, г I_2/100 г	64,8
Температура застигання, °С	<–20
Температура спалаху у відкритому тиглі °С у закритому тиглі, °С	 66 45

Для встановлення можливості використання піроконденсату піролізу відходів полістиролу як сировини для одержання рідких палив його розділяли на дві дистилятні фракції п.к.-200 °С, 200-350 °С та залишок >350 °С й здійснювали їх аналіз.

Встановлено, що фракція п.к.-200 °С характеризується достатньо високим вмістом ненасичених вуглеводнів. Високий вміст у фракції ароматичних вуглеводнів, що підтверджено значенням показника заломлення, зумовлює високе значення октанового числа.

Фракція 200-350 °С піроконденсату піролізу відходів полістиролу характеризується високим значенням температури спалаху, що відповідає вимогам до дизельних палив, низьким вмістом сірки та задовільними низькотемпературними властивостями й високим вмістом ненасичених вуглеводнів, що підтверджено значенням йодного числа.

Залишок >350 °С перегонки піроконденсату – це в’язкий продукт темно-коричневого забарвлення, який за зовнішнім виглядом нагадує консистентне мастило, містить значну кількість ненасичених вуглеводнів, що підтверджено високим значенням йодного числа та низьким значенням температури застигання, що робить його непридатним компонентом для компаундування паливного мазуту.

На основі отриманих результатів проведених досліджень можемо констатувати про принципову можливість переробки відходів полістиролу методом низькотемпературного піролізу з одержанням рідких та твердих продуктів, які можна використовувати у виробництві моторних палив та інших вуглеводневих продуктів.

1. Geyer R., Jambeck J. R., Law K. Production, use, and fate of all plastics ever made. *Science advances*. 2017. V. 3. (7). P.256–264.

2. Тимошевський Б. Г., Шалапко І. О., Шалапко Д. О., Литвиненко О. В. Сучасні способи

переробки пластикових відходів для зменшення забруднення вод світового океану. *Збірник наукових праць НУК*. 2022. 1. С. 44–50.

3. Brunner P. H., Rechberger H. Waste to energy – key element for sustainable waste management. *Waste Management*. 2015. V. 37. P. 3–12.

4. Arun Kumar Awasthi et al. Plastic solid waste utilization technologies: a review. *Iop conf. Series: materials science and engineering*. 2017. 263. 022024.

5. Ragaert K., Delva L., Van Geemb K. Mechanical and Chemical recycling of solid plastic waste. *Waste Management*. 2017. V. 69. P. 24–58.

6. Ранський А. П., Коріненко Б. В. Альтернативна енергетика: отримання синтез-нафти в процесі піролізної переробки поліпропіленових відходів. *Вісник Вінницького політехнічного інституту*. 2023. 2. С. 6–14.

7. Aisien E. T., Otuya I. C., Aisien F. A. Thermal and catalytic pyrolysis of waste polypropylene plastic using spent FCC catalyst. *Environ. Technol. Innov*. 2021. V. 22. P. 442–455.

8. Коріненко Б. В. Худоярова О. С., Хутько М. В., Ранський А. П. Особливості термодеструкції вторинної полімерної сировини. *Вісник Вінницького політехнічного інституту*. 2021. 1. С. 29–35.

9. Shafferina D., Faisal A., Wan M., Mohamed K. Energy recovery from pyrolysis of plastic waste: Study on non-recycled plastics (nrp) data as the real measure of plastic waste. *Energy Conversion and Management*. 2020. 148. P. 925–934.

10. Yan G., Jing X., Wen H., Xiang S. Thermal cracking of Virgin and Waste Plastics of PP and LDPE in a semibatch reactor under atmospheric pressure. *Energy & Fuels*. 2015.V. 29 (4). P. 2289–2298.

11. Hrynyshyn K., Chervinskyy T., Helzhynskyy I., Skorokhoda V. Study on regularities of polyethylene waste low-temperature pyrolysis. *Chemistry & Chemical Technology*. 2023. V.17 (4). P. 923–928.

ЗАХИСНА ДІЯ БІООРГАНІЧНИХ ІНГІБІТОРІВ У СЕРЕДОВИЩІ СВІТЛИХ НАФТОПРОДУКТІВ УКРАЇНСЬКИХ НАФТ

Романчук Олександр Олександрович,
аспірант, oleksandr.o.romanchuk@lpnu.ua
Національний університет «Львівська політехніка», Україна

Топільницький Петро Іванович,
кандидат технічних наук, доцент, petro.i.topilnytskyi@lpnu.ua
Національний університет «Львівська політехніка», Україна

Прямогонний бензин — це первинна бензинова фракція, отримана шляхом атмосферної перегонки нафти без проведення гідроочищення. Залежно від складу вихідної нафти, вміст сірки в ньому може змінюватися від 0,02 до 0,15 % мас., а іноді досягати 0,3 % мас. Навіть незначна кількість сполук сірки сприяє утворенню агресивних середовищ, які активізують електрохімічні та хімічні процеси корозії [1]. Найбільш ефективним способом захисту обладнання від корозійного впливу є застосування інгібіторів. Органічні інгібітори утворюють на металевій поверхні тонкий захисний шар, що запобігає взаємодії агресивних компонентів нафти з металом. Використання інгібіторного захисту дозволяє суттєво знизити інтенсивність розвитку піттингової, щілинної та загальної корозії, навіть за підвищених температур перегонки та наявності водяних домішок.

В умовах сучасних екологічних і економічних вимог до промислових процесів дедалі більшої актуальності набуває використання інгібіторів корозії, створених на основі відновлюваної сировини [2–4].

Метою даної роботи є дослідження процесів корозії обладнання у середовищі прямогонних бензинів, отриманих із нафт українських родовищ, а також визначення захисної ефективності синтезованих інгібіторів органічного походження.

Перспективним напрямом створення екологічно безпечних антикорозійних засобів є використання інгібіторів на основі біоорганічних сполук — зокрема вищих дистильованих жирних кислот (ВДЖК) [5–6], які одержують із природних тваринних жирів. Для підвищення їх інгібуючої дії ВДЖК модифікували азотовмісними речовинами — діетаноламіном (ДЕА) та діаміноетаном (ДАЕ). У результаті взаємодії кислотних і амінних груп утворюються аміди жирних кислот, що мають підвищену полярність і здатність до хемосорбції на поверхні металів. Характеристики синтезованих інгібіторів наведено в таблиці 1.

Таблиця 1. Характеристика синтезованих інгібіторів корозії

Скорочена назва синтезованогоінгібітора	Температура застигання, °С	Густина при 40 °С, кг/м^3	Показник заломлення при 40 °С
ДЗЕА	27	979	1,4865
МЗЕА	31	964	1,4858
ДГЕА	28	984	1,4871

Було досліджено захисну здатність синтезованих інгібіторів в середовищі прямогонних бензинів, одержаних з Качанівської, Новогригорівської, Бугруватівської нафт, а також з суміші нафт Яблунівського родовища (Україна). Їх характеристики наведені в табл.2.

Таблиця 2. Характеристика фракцій, які википають до 200 °С

Нафта	Вихід бензинової фракції, %	Фракційний склад бензинової фракції, °С				Густина при 20 °С, кг/м^3	Кислотність,мг КОН на 100 мл фракції	Вміст S, %
		t п.к.	10 %	50 %	90 %			

Качанівська	31,2	85	106	131	178	745	1,45	0,01
Новогригорівська	27,8	95	110	140	185	772	2,50	0,05
Бугруватівська	17,0	79	120	168	189	785	9,6	0,42
Суміш нафт Яблунівського родовища	14,6	56	107	167	190	755	9,2	0,31

В табл. 3 наведено захисний ефект синтезованих інгібіторів в різних технологічних середовищах.

Таблиця 3 Захисний ефект інгібіторів в різних технологічних середовищах

Інгібітор	Втрата маси пластинки, г	Швидкість корозії, г/м^2 год	Захисний ефект, %
водна фаза +ПБ Качанівської нафти			
без інгібітора	0,0035	0,7527	0
ДЗЕА	0,0007	0,1254	83,33
МЗЕА	0,0005	0,0896	88,10
ДГЕА	0,00015	0,0269	96,43
водна фаза + ПБ Новогригорівської нафти			
без інгібітора	0,0042	0,7527	0
ДЗЕА	0,0013	0,2330	69,05
МЗЕА	0,0008	0,1434	80,95
ДГЕА	0,0005	0,0896	88,10
водна фаза + ПБ Бугруватівської нафти			
без інгібітора	0,0056	1,0036	0
ДЗЕА	0,0021	0,3763	62,50
МЗЕА	0,0014	0,2509	75,00
ДГЕА	0,0009	0,1613	83,93
водна фаза + ПБ суміші нафт яблунівського родовища			
без інгібітора	0,0049	0,8781	0
ДЗЕА	0,0017	0,3047	65,31
МЗЕА	0,0011	0,1971	77,55
ДГЕА	0,0007	0,1254	85,71

Визначення ефективності інгібіторів корозії здійснювали гравіметричним методом, який полягає у вимірюванні втрати маси металевої пластинки після експозиції в середовищі з інгібітором та без нього. За результатами досліджень розраховували швидкість корозії **V**, г/м²·год, та захисний ефект **Z**, %.

Гравіметричні випробування проводили з використанням 5 %-них розчинів досліджуваних речовин у вуглеводневому розчиннику. Концентрація інгібітора у середовищі становила 100 ppm активної речовини. Як контрольні зразки застосовували металеві пластинки зі сталі Ст30 загальною площею близько 30 см².

Досліди проводили в умовах двофазного середовища, що складалося з водного розчину солей та прямогонного бензину, одержаного з різних нафт. Склад водного розчину був таким: NaCl – 163 г/л, $MgCl_2 \cdot 6H_2O$ – 17 г/л, $Ca(HSO_4)_2 \cdot 2H_2O$ – 0,14 г/л, $CaCl_2$ – 34 г/л. Співвідношення фаз «вода : бензин» становило 1:9. Тривалість експерименту — 2 години, температура — 50 °С.

Аналіз отриманих результатів показав, що корозійна агресивність прямогонних бензинів (ПБ) значною мірою залежить від їхнього складу, зокрема вмісту сірки, кислотного числа, густини та фракційного складу. Загалом встановлено, що головними факторами, які визначають корозійну небезпеку ПБ, є співвідношення між кислотністю та вмістом сірковмісних сполук. Найвищу агресивність проявили бензини, отримані з Бугруватівської та Яблунівської нафт, де висока концентрація кислот і сірки створює потенційно небезпечне середовище для вуглецевих сталей. Найменшу активність показав бензин із Качанівського родовища, тоді як Новогригорівський займає проміжне положення.

У всіх досліджених середовищах додавання інгібіторів суттєво зменшувало швидкість корозії порівняно з контрольними зразками. Проте ступінь захисної дії змінювався залежно від складу середовища та типу інгібітора. Найвищий захисний ефект зафіксовано у середовищі бензину Качанівської нафти — до **95,45 %** при застосуванні інгібітора **ДГЕА.** Це пов'язано з низьким кислотним числом (1,45 мг КОН/100 мл) і мінімальним вмістом сірки (0,01 %), що сприяє ефективній адсорбції інгібітора на поверхні металу та формуванню стійкої захисної плівки.

Таким чином, використання біологічно відновлюваної сировини, зокрема ялового жиру, для синтезу амідних інгібіторів сприяє розвитку концепції «зеленої хімії» у сфері антикорозійного захисту. Це не лише забезпечує утилізацію вторинних органічних ресурсів, а й дозволяє замінити традиційні нафтохімічні реагенти більш екологічними та безпечними аналогами. Такі інгібітори є сумісними з паливами та мастильними матеріалами, не впливають на їх експлуатаційні характеристики й забезпечують стабільний захисний ефект навіть за наявності агресивних домішок або підвищених температур.

1. Saji V. S., Umoren, S. A. (Eds.) Corrosion inhibitors in the oil and gas industry. *John Wiley & Sons*. Published: 2020. https://onlinelibrary.wiley.com/doi/book/10.1002/9783527822140.

2. Mahir H. Majeed, Abdul-Wahab A. Sultan and Hussein H. Al-Sahlanee Majeed Corrosion inhibition of carbon steel in 1M HCl solution by Ruta graveolens extract. *Journal of Chemical and Pharmaceutical Research*. 2014. 6(5): 996-1001.

3. Jalab R. Saad, M., Benali A., Hussein I. A., Khaled M. Biodegradable polysaccharide grafted polyacrylamide inhibitor for corrosion in CO_2- saturated saline solution. *Heliyon*. 2023. 9.e20304. DOI: https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e20304

4. Onyeachu I. B., Obot I. B., Adesina A. Y. Green corrosion inhibitor for oilfield application II: The time–evolution effect on the sweet corrosion of API X60 steel in synthetic brine and the inhibition performance of 2-(2-pyridyl) benzimidazole under turbulent hydrodynamics. *Corros. Sci*. 2020. 168. 108589. DOI: https://doi.org/10.1016/j.corsci.2020.108589

5. Topilnytskyy P., Romanchuk V., Yarmola T. Production of Corrosion Inhibitors for Oil Refining Equipment Using Natural Components. *Chem. Chem. Tech*. 2018. 12 (3). P. 400-404. DOI: https://doi.org/10.23939/chcht12.03.400

6. Pyshyev S., Romanchuk O., Topilnytskyy P., Romanchuk V., Miroshnichenko D., Rohovyi Yu., Omelianchuk H., Parkhomov Y. Animal Fats and Vegetable Oils – Promising Resources for Obtaining Effective Corrosion Inhibitors for Oil Refinery Equipment. *Resources*. 2025. 14 (2):30. DOI: https://doi.org/10.3390/resources14020030

РОЗРОБКА ЛІНІЙКИ КОСМЕТИЧНИХ ЗАСОБІВ ДЛЯ ПРОБЛЕМНОЇ ШКІРИ З ОЛІЄЮ ШИПШИНИ ТА САЛІЦИЛОВОЮ КИСЛОТОЮ

Ростовецька Діана Павлівна,
здобувач вищої освіти ІІ курсу, diana.rostovetska@gmail.com
Національний університет харчових технологій, Україна

Біла Галина Миколаївна,
кандидат хімічних наук, доцент, Bilagalina2013@gmail.com
Національний університет харчових технологій, Україна

Сучасна косметологія орієнтована на створення безпечних, ефективних та фізіологічно збалансованих засобів догляду, які поєднують лікувальну і профілактичну дію. Проблемна шкіра потребує сучасного комплексного підходу до терапії [1], що зумовлює актуальність створення нових ефективних вітчизняних косметичних засобів у доступному ціновому діапазоні.

Використання рослинних компонентів як біологічно активних речовин у складі засобів для шкіри є перспективним напрямом сучасної косметології. Серед широкого спектра природних олій особливу увагу привертає олія шипшини (*Rosae oleum*), яка містить значну кількість ненасичених жирних кислот, токоферолів, каротиноїдів і флавоноїдів, що зумовлюють її регенерувальну, протизапальну та антиоксидантну дію. Вона сприяє відновленню пошкодженої шкіри, зменшенню подразнення та запалення, покращує мікроциркуляцію, а також підвищує пружність і еластичність шкіри [2]. Іншим важливим компонентом для лікувально-профілактичних засобів при акне є саліцилова кислота – біогенна речовина природного походження, що має виражені комедолітичні, антисептичні та протизапальні властивості. Її здатність проникати крізь роговий шар і розчиняти комедони робить цей компонент незамінним у догляді за жирною та проблемною шкірою [3].

З метою створення комплексного підходу до догляду за шкірою, схильною до акне, була розроблена лінійка косметичних засобів, до складу якої входять гель, лосьйон і скраб з олією шипшини та саліциловою кислотою. Розробка рецептур базувалася на системному підході, який передбачав аналіз хімічного складу активних інгредієнтів, вивчення їхньої сумісності з допоміжними речовинами та визначення оптимальних концентрацій (рис.1).

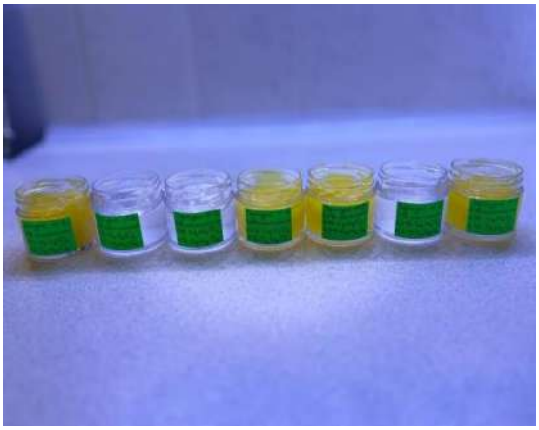


Рис. 1. Експериментальні зразки гелю

При підборі компонентів гелю для проблемної шкіри було враховано результати математичного моделювання експерименту за кубічною моделлю неповного третього порядку (табл. 1, рис. 2). Це дозволило обґрунтувати оптимальні концентрації активних речовин – саліцилової кислоти у межах до 2% і олії шипшини у межах 0,6–3%. Встановлено, що перевищення цих меж зумовлює підвищення pH та погіршення стабільності продукту.

Таблиця 1. Склад модельних зразків гелю

Шифр складу	Олія шипшини (варіація, 3%)	Саліцилова к-та (варіація, 3%)	Гліцерин (варіація, 3%)	Гліцерин (основа, 97%)	Етанол 96% (основа, 97%)	Трилон Б (основа, 97%)	Карбопол 980NF (водн.р-н, основа)	NaOH 30% р-н (основа, 97%)	Вода очищена (основа, 97%)
1	3,0	0	0	3	15	0,05	1	0,80	77,15
2	0	3,0	0	3	15	0,05	1	0,80	77,15
3	0	0	3,0	3	15	0,05	1	0,80	77,15
12	1,5	1,5	0	3	15	0,05	1	0,80	77,15
13	1,5	0	1,5	3	15	0,05	1	0,80	77,15
23	0	1,5	1,5	3	15	0,05	1	0,80	77,15
123	1,0	1,0	1,0	3	15	0,05	1	0,80	77,15

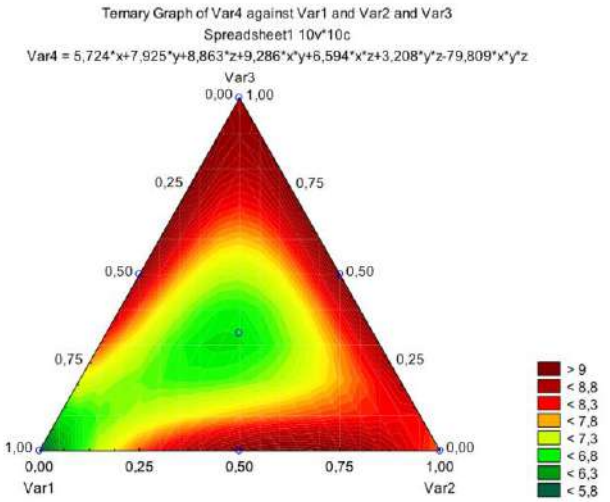


Рис. 2. Область досліджуваного факторного простору

У результаті досліджень було отримано гель з олією шипшини (3%), саліциловою кислотою (2%), спиртом етиловим (15%), гліцерином (6%), трилоном Б (0,05%), карбополом 980NF (1%), натрію гідроксидом (0,8%) та водою очищеною до 100%. Гель має однорідну, приємну консистенцію, легко розподіляється по шкірі, не викликає подразнення та чинить виражену себорегулюючу, протизапальну та антимікробну дію.

Рецептура косметичного лосьйону для проблемної шкіри містить олію шипшини (10%), гліколеву кислоту (5%), саліцилову кислоту (2%) та камфору (5%) у 100 мл готового продукту. Така комбінація інгредієнтів забезпечує комплексний вплив на основні патогенетичні механізми виникнення акне. Гліколева кислота сприяє м'якому відлущенню рогового шару епідермісу, покращує проникнення активних речовин, зменшує гіперкератоз і нормалізує оновлення клітин. Камфора чинить антисептичну та охолоджувальну дію, зменшує свербіж і подразнення. Олія шипшини забезпечує живлення, відновлення шкірного бар'єра і профілактику постзапальної пігментації. Розроблений лосьйон не пересушує шкіру, зберігає її еластичність і природний рівень зволоження, що робить його ефективним засобом догляду при щоденному використанні.

До складу лінійки також увійшов скраб, який був спеціально розроблений, щоб зробити шкіру гладкою, очищену від мертвих клітин і забруднень завдяки частинкам, що містяться в ньому. Скраб виконує функцію глибокого очищення, покращує стан шкіри, зменшуючи дефекти, сприяє регенерації та природному оновленню шкіри. Завдяки поєднанню м'яких абразивів із зволожувальними та протизапальними компонентами засіб не травмує шкіру і

може застосовуватися навіть при підвищеній чутливості. Отже, було створено повноцінну систему догляду, у якій кожен засіб виконує свою функцію і водночас підсилює дію інших.

Комплексне використання розроблених засобів забезпечує поетапний догляд за шкірою. Після очищення шкіри два рази на тиждень застосовується скраб, який видаляє з поверхні надлишок себуму та відмерлих клітин, розкриває пори, сприяє подальшому впливу активних компонентів. Наступним етапом є використання лосьйону, який тонізує, знімає залишкове запалення, підтримує фізіологічний рівень pH та сприяє утриманню вологи у шкірі. Він підготує шкіру до подальшого догляду та посилить дію інших засобів. Завершує догляд нанесення гелю, який забезпечує комедолітичну та протизапальну дію, зменшує активність *Propionibacterium acnes*, сприяє нормалізації секреції сальних залоз і регенерації тканин. Така послідовність застосування забезпечує максимальну ефективність і тривалу профілактичну дію, дозволяючи впливати на всі основні ланки патогенезу акне – гіперкератоз, надлишкову секрецію себуму, бактеріальне запалення та постзапальні зміни.

Результати проведених досліджень підтверджують доцільність використання олії шипшини як ключового компонента косметичних засобів для проблемної шкіри. Високий вміст ненасичених жирних кислот, β-ситостерину та γ-токоферолу забезпечує їй антиоксидантні, протизапальні та регенерувальні властивості, що сприяють зменшенню запалення, прискоренню загоєння мікропошкоджень і відновленню природної структури шкіри. Розроблені косметичні засоби – гель, лосьйон і скраб – доповнюють один одного і створюють ефективну систему поетапного догляду. Вони є технологічно стабільними, мають приємні органолептичні властивості, зручні у використанні та відповідають сучасним вимогам до безпеки і якості косметичних продуктів. Комплексне використання лінійки забезпечує тривалий позитивний ефект, зменшує прояви акне, покращує стан шкіри, її текстуру й колір, що робить запропоновані засоби перспективними для подальшого впровадження у виробництво.

1. Кілєєва О. П. Фармакоекономічні підходи до застосування косметичних засобів для комплексного лікування та профілактики захворювань шкіри. дис. … д-ра філософії в галузі фармацевтики: 226. Запоріжжя, 2024. 259 с.

2. Oargă D. P., Cornea M., Cordea M. Unveiling the mechanisms for the development of rosehip-based dermatological products: an updated review. *Front Pharmacol*. 2024. DOI: 10.3389/fphar.2024.1390419.

3. Santos A. C. S., Oliveira C. H. S., Rego B. M. da C., Costa D. de A. F. The use of salicylic acid in the tratament of acneic skin: an integrative review. *Brazilian Journal of Development*. 2022. №8(5). P. 42451–41461. DOI: https://doi.org/10.34117/bjdv8n5-628.

ДОСЛІДЖЕННЯ СТРУКТУРИ ФЕРИТІВ МЕТОДОМ ІЧ-СПЕКТРОСКОПІЇ

Румак Ольга Олексіївна,
здобувач другого (магістерського) рівня вищої освіти І курсу chem@ukr.net
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Камінський Олександр Миколайович,
кандидат хімічних наук, доцент, alexkamin@ukr.net
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Тітов Юрій Олександрович,
доктор хімічних наук, професор, chem@ukr.net
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Віленський Володимир Олексійович,
доктор хімічних наук, професор, chem@ukr.net
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Денисюк Роман Олександрович,
кандидат хімічних наук, доцент, chem@ukr.net
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Чайка Микола Володимирович,
кандидат хімічних наук, доцент, chem@ukr.net
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Завдяки поєднанню характерних магнітних, структурних і електричних властивостей ферити привертають підвищену увагу дослідників і фахівців різних галузей промисловості. Сучасний синтез таких наноматеріалів дозволяє одержувати ферити різного хімічного складу та функціонального призначення, а процесом синтезу можна керувати технологічно.

Не менш важливим етапом синтезу феритів з унікальним набором фізико-хімічних властивостей є етап підтвердження одержаної структури.

Метою даної роботи є: дослідження феритів методами ІЧ-Фур'є спектроскопії та інтерпретація одержаних даних.

Для підтвердження будови фериту проведено ІЧ-спектроскопічні дослідження на спектрофотометрі з перетворенням Фур'є "AGILENT CARY 630" в спектральному діапазоні 400 – 4000 $см^{-1}$. У якості об'єкта досліджень використано цинковий ферит.

На рис. 1 зображено ІЧ- Фур'є спектр $ZnFe_2O_4$.

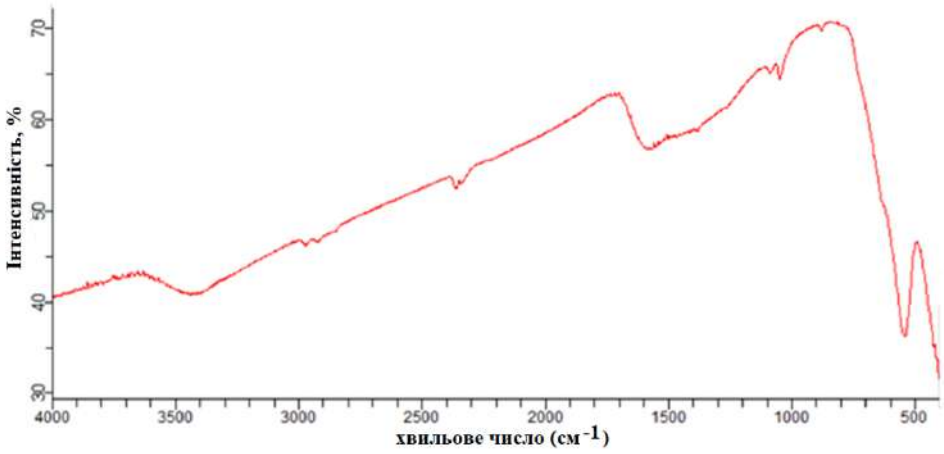


Рис. 1. ІЧ-Фур'є спектр $ZnFe_2O_4$ [1]

Визначено, що при 1600, 1110-900 $см^{-1}$ відбувається валентні коливання Fe – OH зв'язків поверхні шпінелі. Наявність цієї інтенсивної смуги поглинання вказує на високу активність поверхневих OH груп мікрочастинок феритів, оскільки присутність зв'язків такого роду сприяє проходженню адсорбції, що зазначають автори [2].

При 820-790 $см^{-1}$ виявлено коливання йону $[FeO_4]^{2-}$, що характерно для структури шпінелі, а при 650-600 $см^{-1}$ валентні коливання Zn – O зв'язків [3-4].

Отже, використання ІЧ-Фур'є спектроскопії дозволяє здійснити ідентифікацію поверхневих та функціональних груп феритних матеріалів.

1. Бурківська І. В., Камінський О. М., Томашик В. М., Чайка М. В., Денисюк Р. О., Писаренко С. В. Адсорбція метиленового синього з розчинів поверхнею цинкового фериту. Актуальні питання хімії та інтегрованих технологій в умовах кризових ситуацій : ІІІ Міжнар. наук.-практ. інтернет-конф., 24-26 верес. 2024 р. Харків, 2024. http://eprints.zu.edu.ua/42229

2. Frolova L. A., Hrydnieva T. V. Synthesis, structural, magnetic and photocatalytic properties of MFe_2O_4 (M=Co, Mn, Zn) ferrite nanoparticles obtained by plasmachemical method. *J. of Chem. and Techn*. 2020. Vol. 28(2). P. 202-210. https://dx.doi.org/10.15421/082022

3. Richard A. Nyquist and O. Kagel Infrared Spectra of Inorganic Compounds. *Chemikal Physics Research laboratory*. New York and London. 1971. 499 p.

4. Chukanov N. V., Chervonnyi A. D. IR Spectra of Minerals and Related Compounds, and Reference Samples' Data. In: Infrared Spectroscopy of Minerals and Related Compounds. *Springer Mineralogy. Springer, Cham*. 2016. https://doi.org/10.1007/978-3-319-25349-7_2

ВПЛИВ ТЕМПЕРАТУРИ ТА КОНЦЕНТРАЦІЇ КОМПОНЕНТІВ ТРАВИЛЬНОГО РОЗЧИНУ НА ЗАКОНОМІРНОСТІ ОБРОБКИ ПОВЕРХНІ НАПІВПРОВІДНИКОВИХ МОНОКРИСТАЛІВ

Севрук Євгенія Сергіївна,
здобувач вищої освіти IV курсу, zenasevruk39@gmail.com
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Чайка Микола Володимирович,
кандидат хімічних наук, доцент кафедри хімії, laridae92@gmail.com
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Камінський Олександр Миколайович,
кандидат хімічних наук, доцент кафедри хімії, alexkamin@ukr.net
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Свиридюк Катерина Петрівна,
асистент кафедри хімії, svyrydiuk-k@zu.edu.ua
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Чумак Володимир Валентинович,
кандидат хімічних наук, доцент кафедри хімії, chumak@zu.edu.ua
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Хімічне травлення є одним з ключових етапів обробки напівпровідникових матеріалів у технологіях мікро- та наноелектроніки. Саме на цій стадії формується якість поверхні під подальше осадження діелектричних, металевих або епітаксійних шарів, а також задається геометрія мікроструктур. Тому контроль параметрів травлення має вирішальне значення для стабільності роботи сучасних електронних приладів.

У травильних розчинах складу HF – HNO_3 – H_2O процес травлення кремнію описується через послідовність реакцій окиснення поверхневого шару Si нітратною кислотою та розчинення утвореного SiO_2 фтористою кислотою. Загальна швидкість процесу залежить від співвідношення швидкостей цих двох стадій. При низьких концентраціях HF утворений оксид не встигає розчинятися, що призводить до пасивації поверхні. При дефіциті HNO_3, навпаки, спостерігається часткове розчинення поверхні зразка. Таким чином, існує оптимальне співвідношення HF : HNO_3, у якому досягається максимум швидкості травлення зі збереженням високої якості обробленої поверхні.

Швидкість хімічної реакції визначається значенням константи швидкості, яка є індивідуальною характеристикою для кожного процесу. Одним із головних чинників, що впливають на перебіг реакції, є температура середовища, у якому відбувається взаємодія реагентів. Підвищення температури зазвичай спричиняє зростання швидкості реакції, що зумовлено збільшенням значення константи швидкості при практично незмінних концентраціях реагуючих речовин. Кількісно залежність константи швидкості від температури описується рівнянням Арреніуса: $k = C_E \cdot e^{-E/RT}$,

Для лужних травильних розчинів механізм травлення кремнію суттєво відрізняється. Реакція перебігає з утворенням силікатів у розчині, а швидкість процесу істотно залежить від кристалографічної орієнтації поверхні. Для площини (100) швидкість травлення значно вища, ніж для (111), що зумовлює анізотропний характер процесу. Концентраційні та температурні залежності також мають екстремальний характер: при збільшенні концентрації KOH до 30-35 мас. % і температури до 70–80 °C досягається максимум швидкості, після чого процес уповільнюється через зростання в’язкості й іонної сили розчину.

Таким чином, температурний фактор і концентраційний склад травильних розчинів визначають не лише кінетику процесу розчинення, але й механізм обмеження швидкості (кінетичними або дифузійними стадіями), що безпосередньо впливає на морфологію поверхні. Оптимізація цих параметрів дозволяє керувати шорсткістю, дефектністю та селективністю процесу травлення, забезпечуючи необхідну якість поверхні для подальших технологічних операцій.

Проведений теоретичний аналіз підтверджує, що для досягнення високої однорідності поверхні, зокрема монокристалічного кремнію доцільно процес травлення виконувати при середніх температурах (40-60 °C) та оптимізувати співвідношення реагентів, які забезпечують рівновагу між стадіями окиснення та розчинення. Для анізотропного травлення рекомендовано розчини KOH концентрацією 25-35 мас. % при 70-80 °C, що гарантує стабільні швидкості та мінімальну шорсткість площин (100).

Подальші дослідження у цьому напрямі мають бути спрямовані на глибше розуміння взаємозв'язку між термодинамічними та кінетичними параметрами процесу травлення. Узагальнення експериментальних і теоретичних даних дозволить встановити універсальні закономірності впливу температури та концентрації активних компонентів травильного розчину на швидкість, селективність і морфологію розчинення напівпровідникових монокристалів. Розроблення аналітичних моделей і технологічних режимів таких процесів створить підґрунтя для оптимізації методів хімічної обробки, спрямованих на отримання високоякісних бездефектних поверхонь для сучасних електронних, оптоелектронних і сенсорних пристроїв.

4. Rietig A., Langner T., Acker J. About determining reliable etching rates and the role of temperature in kinetic experiments on acidic wet chemical etching of silicon. *Phys. Chem. Chem. Phys.* 2023. Vol. 25. P. 11387-11397. https://doi.org/10.1039/D2CP05837E

5. Pal P., Swarnalatha V., Rao A. V. N. et al. High speed silicon wet anisotropic etching for applications in bulk micromachining: a review. *Micro and Nano Systems Letters*. 2021. Vol. 9. Article 4. https://doi.org/10.1186/s40486-021-00129-0

6. Steinert M., Acker J., Oswald S., Wetzig K. Study on the mechanism of silicon etching in HNO_3-rich HF/HNO_3 mixtures. *J. Phys. Chem. C.* 2007. Vol. 111, No. 5. P. 2133-2140. https://doi.org/10.1021/jp066348j

7. Sato K., Shikida M., Yamashiro Y. et al. Roughening of single-crystal silicon surface etched by KOH water solution. *Sensors and Actuators A.* 1999. Vol. 73. P. 122-130. https://doi.org/10.1016/S0924-4247(98)00270-2

8. Фізико-хімічні основи напівпровідникового матеріалознавства : навч. посіб. / уклад. Е. В. Майструк, І. П. Козярський, Д. П. Козярський, П. Д. Мар'янчук. Чернівці : Чернівец. нац. ун-т, 2020. 120 с.

ВПЛИВ КИСЛОТНОГО ЧИСЛА В'ЯЖУЧОГО НА СТАБІЛЬНІСТЬ БІТУМНИХ ЕМУЛЬСІЙ

Сідун Георгій Олександрович,
аспірант І курсу, heorhii.sidun.asp.2025@lpnu.ua
Національний університет Львівська Політехніка, Україна

Гунька Володимир Мирославович,
Доктор хімічних наук, професор, volodymyr.m.hunka@lpnu.ua
Національний університет Львівська Політехніка, Україна

Куліков Даниїл Олександрович,
аспірант ІІ курсу, danyil.o.kulikov@lpnu.ua
Національний університет Львівська Політехніка, Україна

Бітумні емульсії є важливими матеріалами для дорожнього будівництва, оскільки дозволяють виконувати технологічні процеси за понижених температур і зменшують енергозатрати. Якість та стабільність таких емульсій значною мірою залежать від складу дисперсійного середовища та типу емульгатора. Бітумна емульсія виступає основним в'яжучим компонентом литих емульсійних сумішей (ЛЕМС), від стабільності та складу якої залежать їх однорідність і експлуатаційні властивості. Визначення необхідних показників кислотного числа в'яжучого дає змогу забезпечити стабільність бітумних емульсій, що безпосередньо впливає на якість і довговічність литих емульсійних сумішей. [1-2]

Метою роботи є дослідження впливу кислотного числа в'яжучих на стабільність дорожніх катіонних бітумних емульсій.

Емульсії були приготовані на лабораторному колоїдному млині шляхом диспергування бітуму у водній фазі з додаванням катіонних емульгаторів Redicote E-11 та 404. Для досягнення необхідного pH використано кислоти H_3PO_4 та HCl. Для збільшення кислотного числа використовували наступні добавки: кислий гудрон (КГ; КЧ = 74,7 мг KOH / г), нафтенові кислоти азербайджанських нафт (НК; КЧ = 240 мг KOH / г), вищі жирні кислоти отримані з сировини рослинного походження (ВЖК), 85 %-вий розчин ортофосфорної кислоти (H_3PO_4), промислова добавка для підвищення КЧ – Indulin (КЧ = 249 мг KOH / г). Досліджено вплив концентрації емульгатора та модифікатора на стабільність, в'язкість і седиментаційну стійкість емульсій.

Таблиця 1. Вплив кислотного числа в'яжучого на стабільність бітумних емульсій

№ БЕ	Емульгатор Redicote		Кислота у водні фазі		Бітум	Кислотне число бітуму згідно ASTM D 664-01, мг KOH / г		Зовнішній вигляд після 72 годин
	404	E11	HCl	H_3PO_4		вихідного	залишкового	
01	+	-	-	+	Orlen 70/100	0,2	х	розпад
02	-	+	-	+	Orlen 70/100	0,2	1,8	відмінний
03	-	+	-	+	NYNAS 50/70	3,5	15,63	відмінний
04	+	-	+	-	Orlen 70/100 + 5,0 % мас. КГ	1,9	16,17	відмінний
05	+	-	+	-	Orlen 70/100 + 10,0 % мас. КГ	3,9	22,94	відмінний
06	-	+	-	+	Orlen 70/100 + 1,65 % мас. НК	4,9	12,1	відмінний
07	+	-	-	+	Orlen 70/100 + 1,65 % мас. НК	4,9	х	розпад
08	-	+	-	+	Orlen 70/100 + 1,65 % мас Indulin	4.2	9.8	відмінний
09	+	-	-	+	Orlen 70/100 + 1,37 % мас. Д1	х	х	розпад
10	+	-	+	-	Orlen 70/100 + 1,5 % мас. ВЖК	х	х	розпад
11	-	+	-	+	Orlen 70/100 + 1,0 % мас. H_3PO_4	15,22	24,74	відмінний

Встановлено доцільність використання бітуму модифікованого КГ, НК, Indulin та H_3PO_4 для виготовлення бітумних емульсій. Дані добавки фактично збільшують кислотне число залишкового в'яжучого. Досліджено, що використання бітуму модифікованого КГ для

виготовлення БЕ, за умови використання емульгатора Redicote 404 та HCl формує стійку бітумну емульсію. В даному випадку показник кислотного числа залишкового в'яжучого при модифікуванні бітуму КГ співмірний з товарними зразками.

Додатково встановлено, оптимальним використання комбінації емульгатора та кислоти є Е-11+H_3PO_4 та 404+HCl, натомість 404+ H_3PO_4 приводить до розпаду емульсій.

Отримані результати свідчать, що вибір комбінації емульгатора та кислоти істотно впливає на стабільність і технологічні властивості емульсії. Дослідження показали перспективність використання бітуму, модифікованого добавками КГ, НК Induline та H_3PO_4 для отримання стабільних бітумних емульсій із підвищеним кислотним числом.

1. Sidun I., Sobol K., Bidos V., Hunyak O., & Protsyk I. CATIONIC OVER-STABILISED BITUMEN EMULSION IN ROAD CONSTRUCTION. Theory and Building Practice. Lviv : *Lviv Politechnic Publishing House*, 2023. Vol 5. No 1. P. 49-55.

2. Сідун Ю. В., Гунька В. М., Волліс О. Є., Бідось В. М. Бітумні катіонні емульсії із використанням води відібраної із ставків-накопичувачів кислих гудронів.

ПРОЦЕСИ АДСОРБЦІЇ БАРВНИКІВ З ВОДНИХ РОЗЧИНІВ

Топузов Сервер Асанович,
здобувач першого (бакалаврського) рівня вищої освіти IV курсу chem@ukr.net
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Камінський Олександр Миколайович,
кандидат хімічних наук, доцент, alexkamin@ukr.net
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Денисюк Роман Олександрович,
кандидат хімічних наук, доцент, chem@ukr.net
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Чайка Микола Володимирович,
кандидат хімічних наук, доцент, chem@ukr.net
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Кучерук Сніжана Василівна,
доктор філософії з галузі знань Хімічна та біоінженерія, доцент кафедри хімії,
snezhunka1107@gmail.com
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Переважна більшість синтетичних барвників, що виробляються у світі, використовується в таких галузях, як паперова, текстильна, пластмасова, косметична та поліграфічна промисловість, після чого значна їх частина потрапляє у навколишнє середовище. Щороку значні обсяги промислових барвників скидаються у природні водойми без належного очищення, що спричиняє серйозні екологічні проблеми [1].

Органічні барвники чинять негативний вплив не лише на стан довкілля, але й становлять потенційну небезпеку для здоров'я людини. Їхня токсична дія може проявлятися у вигляді ціанозу, нудоти, блювання, астматичних реакцій, алергії, порушень функцій печінки та нирок, а також генетичних мутацій. Таким чином, неконтрольоване потрапляння синтетичних барвників у водні екосистеми є суттєвим фактором антропогенного забруднення, що потребує ефективних методів очищення та моніторингу.

У роботі [2] проведено дослідження адсорбційних властивостей та механізму зв'язування кристалічного фіолетового на біосорбенті Fe_3O_4@бактерії, поверхня якого була модифікована магнітними наночастинками. Проаналізовано кінетику адсорбції, рівноважні характеристики масопереносу та енергетичний розподіл активних центрів.

За умов початкової концентрації барвника 40 мг/л, значення pH = 4, додаванні 0,003 г сорбенту Fe_3O_4@бактерії та тривалості процесу 2 год при 25 °C, максимальна статична адсорбційна ємність становила 114,8 мг/г, що у 2,07 раза перевищує показник чистого Fe_3O_4 за аналогічних умов. Встановлено, що зразки Fe_3O_4@бактерії зберігали ефективність після понад шести циклів регенерації, а під час очищення реальних стічних вод текстильного виробництва спостерігалося зниження хімічного споживання кисню (ХСК) на 76,2 %.

Результати експериментів добре узгоджуються з ізотермою Тьомкіна, кінетичною моделлю Єловича та псевдокінетикою другого порядку. Аналіз масопереносу показав, що модель внутрішньоплівкової дифузії (IPD) найбільш точно описує процес адсорбції, при цьому внутрішньочастинкова дифузія не є єдиним обмежувальним етапом. Згідно з термодинамічними розрахунками, адсорбційний процес має спонтанний і екзотермічний характер.

Енергетичний аналіз поверхні свідчить про її гетерогенність, причому основна частина

адсорбції кристалічного фіолетового відбувається на ділянках з енергією понад 13,0 кДж/моль, що підтверджує фізико-хімічну природу взаємодії. Отримані результати демонструють, що бактерії, модифіковані магнітними наночастинками, можуть розглядатися як ефективні й відновлювані адсорбенти для вилучення органічних барвників, характерних для стічних вод текстильної промисловості.

На рис. 1 показано схему утворення магнітних наночастинок, декорованих бактеріями, СЕМ-зображення та розрахунки теплот адсорбції барвника кристалічного фіолетового.

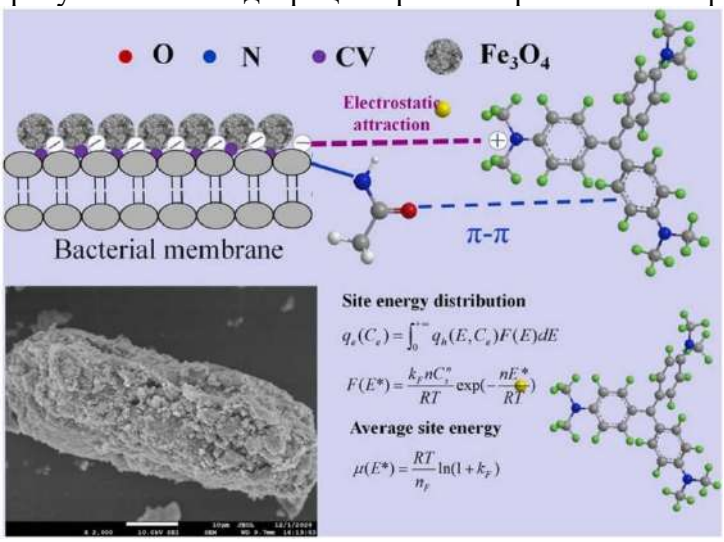


Рис. 1. Схема утворення магнітних наночастинок, декорованих бактеріями, СЕМ-зображення та розрахунки теплот адсорбції барвника кристалічного фіолетового [2]

1. Sadoq M., Atlas H., Imame S., et al. Elimination of crystal violet from aqueous solution by adsorption on naturel polysaccharide: Kinetic, isotherm, thermodynamic studies and mechanism analysis. Arabian Journal of Chemistry. 2024. Vol. 17, Is. 1. 105453. https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2023.105453

2. Cheng X., Duan Ch., Yang P., Pi Y., Qi H., Sun Z., Chen Sh. Effective adsorption of crystal violet onto magnetic nanoparticles decorated bacteria: Kinetic and site energy distribution analysis. *Process Safety and Environmental Protection*. 2023. Vol. 173. P. 837-846. https://doi.org/10.1016/j.psep.2023.03.035

ВИКОРИСТАННЯ НАНОФЕРИТІВ НА ОСНОВІ КУПРУМУ

Хімчик Ольга Сергіївна,
здобувач другого (магістерського) рівня вищої освіти І курсу chem@ukr.net
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Камінський Олександр Миколайович,
кандидат хімічних наук, доцент, alexkamin@ukr.net
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Тітов Юрій Олександрович,
доктор хімічних наук, професор, chem@ukr.net
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Віленський Володимир Олексійович,
доктор хімічних наук, професор, chem@ukr.net
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Панасюк Дмитро Юрійович,
судовий експерт, асистент кафедри хімії dima.panasuk261195@gmail.com
Житомирський науково-дослідний експертно-криміналістичний центр МВС України
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Ходюк Олександр Васильович,
асистент кафедри хімії chem@ukr.net
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

В останні роки наночастинки (НЧ) купрумового фериту ($CuFe_2O_4$) привертають увагу багатьох дослідників завдяки своєму потенційному застосуванню в очищенні води. НЧ $CuFe_2O_4$ є відносно недорогим магнітним матеріалом і стабільним за різних умов. Як наслідок, їх легко вилучати з очищеної води за допомогою зовнішнього магнітного поля та повторно використовувати протягом кількох циклів.

Так, в оглядовій статті авторами [1] зроблено акцент на розумінні впливу певних факторів, таких як метод синтезу, температура відпоалу, тип легуючої домішки, pH та розмір кристалів, на магнітні властивості НЧ $CuFe_2O_4$ та нанокомпозитів на їх основі. Було детально обговорено застосування НЧ $CuFe_2O_4$ в очищенні води та їх здатність поєднуватися з іншими наноматеріалами для фотокаталізу та адсорбції.

У роботі [2] кубічні нанопорошки купрумового фериту $CuFe_2O_4$ були синтезовані гідротермальним методом з використанням промислових відходів. Умови синтезу були систематично вивчені за допомогою статистичного планування (програма Бокса-Бенкена) та визначено оптимальні умови. Показано, що однофазні кубічні порошки купрумового фериту можна отримати при різних температурах від 100 до 200 ° С протягом часу від 12 до 36 годин зі значеннями pH 8-12. Розмір кристалітів отриманих порошків знаходився у діапазоні від 24,6 до 51,5 нм. Отримані порошки мідного фериту мали однорідну псевдокубічну структуру. Висока намагніченість насичення (Ms^{-1} 83,7 emu/g) була досягнута при гідротермальній температурі 200 °С протягом 24 годин та pH 8.

Досліджено фотокаталітичну деградацію барвника метиленового синього з використанням порошків купрумового фериту, отриманих за різних умов. Хороша каталітична ефективність становила 95,9% при гідротермальній температурі 200 °С протягом гідротермального часу 24 год при pH 12 завдяки високій площі поверхні (118,4 $м^2/г$).

Авторами у роботі [3] синтезовано магнітну шпінель купрумового фериту ($CuFe_2O_4$) за допомогою золь-гель «зеленого» синтезу з використанням екстракту настурції лікарської.

Фізико-хімічні властивості цих наноструктур вивчено методами просвічуючої електронної мікроскопії, автоемісійного сканування, електронної мікроскопії (FE-SEM), рентгенівської дифракції (XRD), магнітометрії вібраційного зразка. Показано, що XRD відповідає структурі купрумового фериту. Результати SEM продемонстрували наявність керамічної шпінелі зі сферичною морфологією поверхні. Досліджено цитотоксичний ефект наноструктур $CuFe_2O_4$ на зразках клітини феохромоцитоми щурів (PC12), який оцінювали на основі аналізу MTT. Показано, що зразки купрумової магнітної шпінелі мали низький рівень токсичності за концентрації 250 мкг/мл. Показано, що ці наноструктури можна вважати придатними кандидатами для доставки ліків та інших біомедичних застосувань через їх низьку токсичність.

Тобто, як можна помітити, купрумовий ферит знаходить широке використання у різних галузях сучасної науки.

1. Masunga N., Mmelesi O. K., Kefeni K. K., Mamba B. B. Recent advances in copper ferrite nanoparticles and nanocomposites synthesis, magnetic properties and application in water treatment: Review. *Journal of Environmental Chemical Engineering*. 2019. Vol. 7, Is. 3. 103179. https://doi.org/10.1016/j.jece.2019.103179

2. Rashad M. M., Mohamed R. M., Ibrahim M. A., Ismail L. F. M., Abdel-Aal E. A. Magnetic and catalytic properties of cubic copper ferrite nanopowders synthesized from secondary resources. *Advanced Powder Technology*. 2012. Vol. 23, Is. 3. P. 315-323. https://doi.org/10.1016/j.apt.2011.04.005

3. Jasim S. A., Patra I., Opulencia M. J. C., et al. Green synthesis of spinel copper ferrite ($CuFe_2O_4$) nanoparticles and their toxicity. *Nanotechnology Reviews*. 2022. Vol. 11. P. 2483-2492. https://doi.org/10.1515/ntrev-2022-0143

ФОТОКАТАЛІЗ КОНГО ЧЕРВОНОГО НЕОРГАНІЧНИМИ КАТАЛІЗАТОРАМИ

Цюпа Мирон Романович,
здобувач першого (бакалаврського) рівня вищої освіти IV курсу chem@ukr.net
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Камінський Олександр Миколайович,
кандидат хімічних наук, доцент, alexkamin@ukr.net
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Денисюк Роман Олександрович,
кандидат хімічних наук, доцент, chem@ukr.net
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Чайка Микола Володимирович,
кандидат хімічних наук, доцент, chem@ukr.net
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Кучерук Сніжана Василівна,
доктор філософії з галузі знань Хімічна та біоінженерія, доцент кафедри хімії,
snezhunka1107@gmail.com
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Проблема забруднення водного середовища органічними барвниками є однією з найактуальніших екологічних загроз сучасності. Значна кількість синтетичних барвників, які широко застосовуються у текстильній, паперовій, шкіряній, харчовій та фармацевтичній промисловості, характеризуються високою хімічною стабільністю та стійкістю до біологічного розкладання. Через це традиційні методи очищення стічних вод, такі як коагуляція, флокуляція, адсорбція чи біологічна деструкція, часто виявляються недостатньо ефективними. У цьому контексті фотокаталіз розглядається як один із найперспективніших методів деструкції стійких органічних забруднювачів, зокрема барвників.

Фотокаталіз базується на використанні напівпровідникових матеріалів (наприклад, TiO_2, ZnO, Fe_2O_3, CdS тощо), які під дією ультрафіолетового або видимого випромінювання утворюють пари електрон-дірка. Ці носії заряду ініціюють окисно-відновні реакції, що призводять до утворення активних форм кисню ($•OH$, $•O_2^-$), здатних повністю розкладати органічні молекули барвників до безпечних кінцевих продуктів – CO_2, H_2O та неорганічних іонів.

Перевагою фотокаталітичного методу є його висока ефективність, екологічна безпечність та можливість повної мінералізації токсичних сполук без утворення вторинних відходів. Крім того, процес може відбуватися за помірних температур і тисків, що робить його енергоощадним і придатним для практичного впровадження у системах очищення стічних вод.

Останніми роками особливу увагу приділяють розробці наноструктурованих фотокаталізаторів із розширеною поверхнею, модифікованих металами або оксидами для підвищення активності у видимому діапазоні світла. Такі матеріали, як ZnO, TiO_2, Fe_3O_4@C, $ZnAl_2O_4$ та їх композити, демонструють високі показники деградації барвників, включно з метиленовим синім, кристалічним фіолетовим і конго червоним.

Таким чином, фотокаталіз є універсальною, ефективною та екологічно чистою технологією очищення стічних вод від органічних барвників. Його впровадження сприяє зменшенню антропогенного навантаження на довкілля та створює основу для розвитку сталих технологій водоочищення, що відповідають вимогам сучасної екологічної безпеки.

Метою даної роботи є: дослідження процесу фотокаталізу барвника конго червоного

твердотільними неорганічними матеріалами.

У роботі використано установку для проведення фотокаталізу, опис роботи якої зазначено в [1].

Для проведення фотокаталізу конго червоного відважували по 0,05 г титан діоксиду, станум діоксиду та гідроксиапатиту. До кожного з каталізаторів додавали по 20 мл розчину конго червоного (C_0 = 6 мг/л) та опромінювали УФ лампою потужністю 40 Вт (λ = 365-400 нм) протягом 10 хвилин.

Концентрацію барвника до та після фотокаталізу вимірювали за допомогою КФК-2 за довжини хвилі 490 нм. У якості розчину порівняння використовували дистильовану воду.

Відносний ступінь фотокаталізу барвника розраховували за формулою:

$$X, \% = \frac{(D_0 - D_1)}{D_0} \cdot 100\ \%$$

де X, % - відносний ступінь фотокаталізу, D_0 та D_1 – оптична густина до та після фотодеструкції барвника відповідно.

На рис. 1 показано діаграму залежності відносного ступеня фотокаталізу від каталізатора.

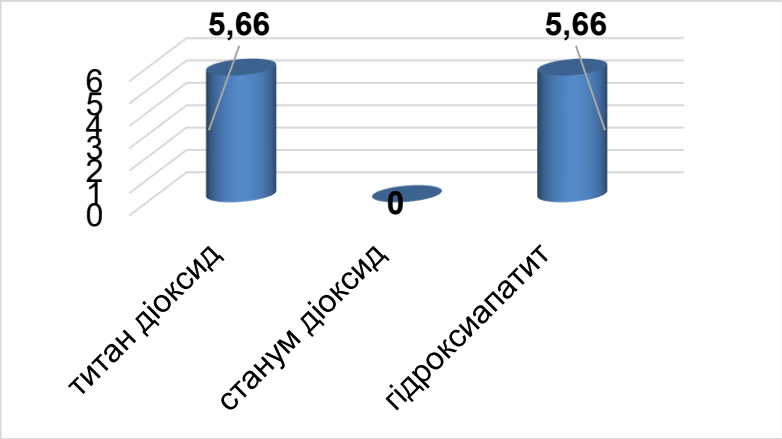


Рис. 1 Діаграма залежності відносного ступеня фотокаталізу від каталізатора

Встановлено, що відносний ступінь фотокаталізу для поверхонь титан діоксиду та гідроксиапатиту становив 5,66 %, тоді як станум діоксид та таких самих умов не проявив фотокаталітичної активності щодо барвника конго червоного.

1. Pysarenko S., Kaminskyi O., Chyhyrynets O., Denysiuk R., Chernenko V. Photocatalytic destruction and adsorptive processes of methylene blue by potassium titanate. *Materials Today: Proceedings*. 2022. Vol. 62 (15). P. 7754-7758. https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.05.476

СТРУКТУРА ТА ЕЛЕКТРОФІЗИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ZnO ЛЕГОВАНОГО МІДДЮ

Чудеса Кіра Володимирівна,
Здобувачка вищої освіти IV курсу, kira.life2005@gmail.com
Сумський державний університет, Україна

Пшеничний Роман Миколайович,
Доцент кафедри теоретичної та прикладної хімії
Сумський державний університет, Україна

Оксидні напівпровідники становлять одну з найдинамічніших галузей сучасного матеріалознавства, оскільки поєднують хімічну стабільність, доступність і можливість тонкого керування електронною структурою. Серед них особливе місце займають сполуки типу ZnO, TiO_2, SnO_2, CuO та NiO, які характеризуються широкою забороненою зоною, прозорістю у видимому діапазоні та високою рухливістю носіїв заряду [1,2].

Для геліоенергетики — зокрема, у складі фотоелектричних елементів і фотокаталітичних систем — оксидні напівпровідники привабливі тим, що можуть бути використані як активні або буферні шари, здатні ефективно поглинати ультрафіолетову частину спектра та переносити заряд у гібридних структурах з органічними або перовськітними компонентами. Важливо, що такі матеріали можна синтезувати за відносно низьких температур методами, які не потребують вакуумного обладнання — наприклад, золь-гель, спрей-піроліз або хімічного осадження з розчину. Це суттєво знижує собівартість виробництва елементів сонячних панелей [5,6].

Одним із ключових напрямів розвитку оксидної фотоніки є модифікація базових матеріалів шляхом легування, тобто введення до кристалічної решітки контрольованої кількості домішок. Такий підхід дозволяє змінювати ширину забороненої зони, тип провідності, концентрацію носіїв заряду та стабільність структури при опроміненні. Особливо ефективним є легування перехідними металами, які мають незаповнені *d*-орбіталі, здатні створювати додаткові енергетичні рівні всередині забороненої зони напівпровідника [3,4].

Серед різноманітних систем особливу увагу привертає оксид цинку — один із найвивченіших оксидних напівпровідників. Його широкозонна природа ($Eg \approx 3{,}37$ еВ), висока прозорість у видимому діапазоні, наявність великого екситонного зв'язку (60 меВ) та хімічна стабільність роблять ZnO базовим матеріалом для ультрафіолетових лазерів, фотодетекторів, сенсорів газів і тонкоплівкових транзисторів. Проте для ефективного використання у сонячній енергетиці ZnO потребує регулювання електронної структури з метою розширення спектра поглинання у видимій області [1,2].

Одним із найбільш досліджуваних способів досягнення цього є легування ZnO іонами міді, нікелю, кобальту або заліза. Зокрема, іони Cu^{2+}, завдяки своїй електронній конфігурації ($3d^9$), взаємодіють з 2p-орбіталями кисню, формуючи проміжні енергетичні рівні, які зменшують ширину забороненої зони і підвищують поглинання видимого світла. Це відкриває можливість використання легованого ZnO у фотоелектричних комірках як активного шару, що розширює діапазон поглинання сонячного випромінювання до зеленої та жовтої областей спектра [4].

Крім оптичних характеристик, легування також впливає на електрофізичні властивості матеріалу. Іонні домішки можуть змінювати концентрацію електронів або дірок, виступаючи як донори чи акцептори залежно від валентного стану. Правильний вибір концентрації легувального елемента та умов синтезу дозволяє суттєво покращити фотоактивність ZnO, зберігаючи при цьому його хімічну стабільність і структурну однорідність [3-6].

Легування ZnO іонами міді є одним із найбільш перспективних способів модифікації електронних та оптичних характеристик цього широкозонного напівпровідника. При введенні міді до кристалічної гратки ZnO утворюються тверді розчини типу $Zn_{1-x}Cu_xO$, у яких Cu^{2+}

заміщують Zn^{2+} у тетраедричній координації структури вюрциту. Іонний радіус Cu^{2+} (0,073 нм) є дещо меншим, ніж Zn^{2+} (0,074 нм), що спричиняє невеликі локальні деформації кристалічної ґратки та зміни її параметрів [3-5].

При невеликих концентраціях Cu ($x \leq 0,05$) структура вюрциту зберігається без формування домішкових фаз. При подальшому збільшенні вмісту Cu спостерігається зменшення інтенсивності основних дифракційних піків ZnO та поява слабких сигналів, характерних для CuO, що свідчить про межу розчинності домішки в ґратці ZnO [4].

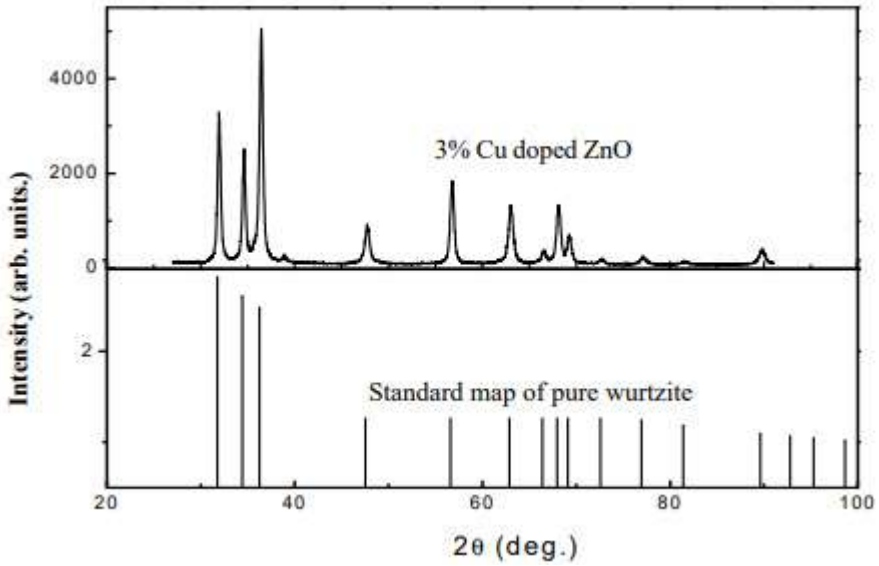


Рис. 1. Рентгенограми $Zn_{1-x}Cu_xO$ (3% Cu) і стандартного чистого вюрциту

Зміна кристалічних параметрів має закономірний характер: параметр *a* (в площині гексагональної комірки) поступово зменшується, тоді як параметр *c* (вздовж осі) дещо збільшується. Це зумовлено напруженням у ґратці та перерозподілом електронної густини внаслідок різної електронегативності цинку (1,65) та міді (1,90) [6].

Введення Cu призводить до суттєвих змін в електронній структурі ZnO. Домішкові рівні Cu^{2+} створюють нові дозволені енергетичні стани в забороненій зоні, що спричиняє звуження ширини енергетичної щілини (*Eg*). Зі зростанням концентрації Cu від 0 до 5 ат.% спостерігається зміщення краю поглинання до довших хвиль (red shift) та зменшення ширини енергетичної щілини з 3,26 до приблизно 3,10 еВ. Такий ефект пов'язаний з гібридизацією орбіталей Cu 3d та O 2p і частковим переходом електронів на нові енергетичні рівні [4-6].

Крім того, Cu може діяти як акцепторна домішка, сприяючи переходу ZnO від n- до p-типу провідності. Хоча повна інверсія типу провідності спостерігається рідко, у багатьох випадках концентрація носіїв зменшується, а рухливість електронів змінюється залежно від технологічних умов легування. У наноструктурах $Zn_{1-x}Cu_xO$ спостерігається також підвищення фотопровідності у видимій області спектра, що відкриває перспективи для їх використання в сонячних елементах та фотодетекторах [4-6].

Таким чином, легування оксиду цинку міддю дозволяє цілеспрямовано керувати його структурою, оптичними та електрофізичними властивостями, забезпечуючи покращення чутливості до видимого випромінювання, регулювання ширини забороненої зони та стабільності носіїв заряду. Це робить тверді розчини $Zn_{1-x}Cu_xO$ перспективними матеріалами для геліоенергетики, сенсорики та оптоелектроніки нового покоління.

1. Üzgür Ü., Alivov Y. I., Liu C., Teke A., Reshchikov M. A., Doğan S., Avrutin V., Cho S.-J., Morkoç H. A comprehensive review of ZnO materials and devices. *Journal of Applied Physics*, 2005, Vol. 98, No. 4, Article 041301. doi:10.1063/1.1992666

2. Vaseem M., Umar A., Hahn Y.-B. ZnO Nanoparticles: Growth, Properties, and Applications. In: A. Umar & Y.-B. Hahn (Eds.), *Metal Oxide Nanostructures and Their Applications*, Vol. 5. P. 1–

36. American Scientific Publishers, 2010. ISBN 1-58883-170-1

3. Abebe B., Gupta N. K., Tsegaye D. A critical mini-review on doping and heterojunction formation in ZnO-based catalysts. *RSC Advances*, 2024, Vol. 14, P. 17338–17349. doi:10.1039/D4RA02568G

4. Ma Z., Ren F., Ming,X., Long Y., & Volinsky A. A. Cu-Doped ZnO Electronic Structure and Optical Properties Studied by First-Principles Calculations and Experiments. *Materials*, 2019, Vol. 12, Issue 1, Article 196. doi:10.3390/ma12010196

5. Toma F. T. Z., Rahman M. S., Maria K. H. A review of recent advances in ZnO nanostructured thin films by various deposition techniques. *Discover Materials*, 2025, Vol. 5, Article 60. doi:10.1007/s43939-025-00201-1

6. Rabeel M., Javed S., Khan R., Akram M. A., Rehman S., Kim D. K., & Khan M. F. Controlling the Wettability of ZnO Thin Films by Spray Pyrolysis for Photocatalytic Applications. *Materials*, 2022, Vol. 15, Issue 9, Article 3364. doi:10.3390/ma15093364

ЗОЛЬ-ГЕЛЬ СИНТЕЗ НАНОФЕРИТІВ

Шевчук Даниїл Миколайович,
здобувач першого (бакалаврського) рівня вищої освіти IV курсу chem@ukr.net
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Камінський Олександр Миколайович,
кандидат хімічних наук, доцент, alexkamin@ukr.net
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Тітов Юрій Олександрович,
доктор хімічних наук, професор, chem@ukr.net
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Віленський Володимир Олексійович,
доктор хімічних наук, професор, chem@ukr.net
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Чайка Микола Володимирович,
кандидат хімічних наук, доцент, chem@ukr.net
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Кучерук Сніжана Василівна,
доктор філософії з галузі знань Хімічна та біоінженерія, доцент кафедри хімії,
snezhunka1107@gmail.com
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Серед сучасних методів одержання наноструктурованих оксидних матеріалів особливе місце посідає золь-гель синтез, який поєднує простоту виконання, гнучкість у виборі реагентів і можливість точного контролю складу та морфології продукту. Цей метод набув широкого поширення у створенні наноферитів шпінельного типу (MFe_2O_4) завдяки здатності забезпечувати однорідний розподіл катіонів у реакційній системі та формування дрібнодисперсних частинок із контрольованими властивостями.

Золь-гель процес базується на перетворенні рідкого золю, що містить прекурсори металів (зазвичай нітрати або алкоксиди), у гель за рахунок реакцій гідролізу та конденсації. Подальше висушування та термічне прожарювання дозволяють отримати нанокристалічний порошок із високим ступенем чистоти. Перевагами цього методу є низька температура синтезу, висока гомогенність системи, можливість регулювання розміру наночастинок, а також здатність до легування різними іонами (Zn^{2+}, Co^{2+}, Mn^{2+} тощо), що дозволяє керувати магнітними, електричними та каталізаторними властивостями феритів.

У порівнянні з традиційними методами (твердофазним синтезом, співосадженням, гідротермальним підходом), золь-гель технологія забезпечує кращу однорідність кристалічної фази, зменшення агломерації частинок та високу поверхневу активність, що є важливим для створення функціональних матеріалів. Завдяки цьому наноферити, синтезовані золь-гель методом, успішно застосовуються у фотокаталізі, сенсорних пристроях, магнітних носіях даних, біомедичних технологіях і електроніці.

У дослідженні [1] здійснено економічно доцільний та екологічно безпечний (“зелений”) синтез наночастинок нікельферіту ($NiFe_2O_4$) із використанням екстракту листя Terminalia catapra як відновлювального та стабілізувального агента. Було отримано два зразки – NF1 та NF2, залежно від об’єму доданого екстракту.

Рентгеноструктурний аналіз (XRD) показав, що обидва зразки характеризуються інверсною шпінельною структурою з середнім розміром кристалітів 11,78 нм (NF1) та 8,01 нм

(NF2). Дані інфрачервоної спектроскопії Фур'є (FTIR) підтвердили формування типових коливальних смуг, притаманних шпінельним феритам, що свідчить про успішний синтез нікельферитної фази.

Для приготування розчину прекурсорів нітрати нікелю(II) та феруму(III) розчиняли у 50 мл дистильованої води в молярному співвідношенні 1:2. Експерименти проводили з додаванням двох різних об'ємів екстракту листя – 10 мл та 20 мл. Екстракт вводили по краплях у розчини металевих солей, які підтримували при температурі 80 °C за умов інтенсивного перемішування до утворення гелю. Отриманий гель висушували в сушильній шафі при 150 °C протягом 2 годин, після чого зразки піддавали термічному відпалу при 600 °C протягом 4 годин.

У результаті отримано порошкові наноматеріали $NiFe_2O_4$, які відповідно до об'єму використаного екстракту (10 і 20 мл) були позначені як NF1 та NF2. Проведений комплексний структурний та спектроскопічний аналіз підтвердив ефективність застосованого золь-гель подібного зеленого підходу до синтезу нікельферитних наночастинок.

В оглядовій роботі [2] здійснено порівняльний аналіз різноманітних складів шпінельних феритів, їхньої кристалічної структури та потенційних напрямів практичного застосування. Автори провели класифікацію методів синтезу феритів, акцентуючи увагу на перевагах і недоліках кожного підходу. Відзначено, що рідкофазні методи можна вважати технологічно більш доцільними, оскільки вони забезпечують високий рівень чистоти продукту та контроль над розміром частинок.

Порівняння гідротермального, сонохімічного та золь-гель методів показало, що саме гідротермальний синтез надає можливість ефективно регулювати розмір, морфологію, монодисперсність і ступінь кристалічності отриманих наночастинок. Крім того, в статті детально розглянуто сучасні технології синтезу феритів, зокрема плазмові та ультразвукові методи, наведено їх особливості, переваги та потенціал практичного використання у створенні матеріалів із заданими фізико-хімічними властивостями.

1. Sarala E., Vinuth M., Madhukara Naik M., Rami Y. V. Reddy Green synthesis of nickel ferrite nanoparticles using Terminalia catappa: Structural, magnetic and anticancer studies against MCF-7 cell lines. *Journal of Hazardous Materials Advances*. 2022. 100150. https://doi.org/10.1016/j.hazadv.2022.100150

2. Frolova L. A., Sknar I. V., Mandryka A. G., Frolov O. O. NOVEL METHODS OF SPINEL FERRITES PRODUCTION: MINI-REVIEW. *Journal of Chemistry and Technologies*. 2024. Vol. 32 No. 3. https://doi.org/10.15421/jchemtech.v32i3.308828

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ ДЕЕМУЛЬГАТОРІВ З РІЗНИМИ ЗА ПРИРОДОЮ РОЗЧИННИКАМИ

Шищак Максим Миронович,
аспірант ІІІ курсу, maksym.m.shyshchak@lpnu.ua
Національний університет «Львівська політехніка», Україна

Топільницький Петро Іванович,
кандидат технічних наук, доцент, petro.i.topilnytskyi@lpnu.ua
Національний університет «Львівська політехніка», Україна

Стабільні емульсії, які утворюються в нафтах внаслідок наявності пластової води, а також природних стабілізаторів, таких як асфальтени, смоли, карбонові кислоти та тверді речовини, спричиняють низку проблем у нафтовій галузі, починаючи від етапу видобутку і закінчуючи етапом переробки. Для руйнування нафтових емульсій широко застосовують хімічні речовини, відомі як деемульгатори (ДЕ), розробка композиції яких вважається важливим аспектом у підготовці до переробки важких нафт. Застосування композиційних сполук, в більшості випадків є більш ефективним, ніж використання будь-якої сполуки в чистому вигляді [1].

Раніше авторами було розроблено серію нових композицій ДЕ на основі комерційних деемульгаторів Dissolvan (Clariant, Швейцарія) і визначено їх ефективність в процесі зневоднення важких нафт українських родовищ [2]. Композиції складались з різних за природою промислових ДЕ у різних співвідношеннях і різних розчинників.

Природа розчинника є одним з чинників, від яких залежить ефективність деемульгатора, оскільки ДЕ впливає на розчинність, в'язкість і однорідність емульсійної системи. Здатність розчинника розчиняти як деемульгатор, так і нафтову фазу, а також його здатність знижувати в'язкість, сприяють кращій дифузії молекул ДЕ до межі розділу нафта-вода, де відбувається руйнування емульсії [3].

Для порівняльного аналізу були відібрані композиції де розчинником слугувала суміш ксилолів і вода. Вибір розчинників був обґрунтований наступним.

З літератури відомо [4], що для емульсій типу вода-в-нафті і деемульгаторів на основі оксидів етилену і пропілену використовують ксилол або суміш ксилолів. Вони є основним розчинником в промислових деемульгаторах і покращують ефективність ДЕ, особливо якщо їх використовують для композицій. Вода, як співрозчинник, запускає дію ДЕ. Чим більше води в емульсії, тим вища ефективність ДЕ.

Порівняння ефективності синтезованих композицій з сумішшю ксилолів і водою в якості розчинників представлено в таблиці 1. Ізопропанол додавали для підвищення гомогенності і стабільності суміші ДЕ. Окрім того, він сумісний як з базовими полімерами, так і водою.

Таблиця 1. Композиції ДЕ і ступінь зневоднення Бугруватської нафти в суміші з ДЕ

Номер композиції	Склад композиції, % мас.						Ступінь зневоднення, %
	D3245	D4411	D5252	Суміш ксилолів	Ізопропанол	Вода	
1	6	40	5	39	10	-	94,5
2	10	30	10	-	30	20	93,8

Як видно з табл. 1, обидві композиції є високоефективними: для композиції 1 (розчинник – суміш ксилолів) ступінь зневоднення є дещо вищою і становить 94,5 %, а для композиції 2 (розчинник – вода) ця величина 93,8 %. На нашу думку, така невелика різниця пояснюється вдало підібраним складом компонентів та їх співвідношенням.

Ксилол як розчинник сприяє кращому змішуванню компонентів і знижує в’язкість

емульсії, що надає молекулам ДЕ можливість швидше і легше проникати в емульсію. Нижча в’язкість і краще змішування дозволяють деемульгатору швидше і повніше дифундувати через нафтову фазу, роблячи деемульгатор більш ефективним у руйнуванні емульсій за рахунок ефективного досягнення і дестабілізації межі розділу нафта-вода.

Вода підвищує ефективність деемульгатора, утворюючи міцні водневі зв'язки з його молекулами і виступаючи в ролі середовища для коалесценції, що сприяє дестабілізації емульсії. Окрім того, додавання води посилює взаємодію з існуючими краплями води та емульсією в цілому, що призводить до швидшого та повнішого розділення.

Одержані результати можуть бути корисними при розробці нових форм промислових деемульгаторів.

1. Yonguep E., Kapiamba K. F., Kabamba K. J., Chowdhury M. Formation, stabilization and chemical demulsification of crude oil-in-water emulsions: A review. *Petroleum Research*. 2022. Vol. 7 (4). P. 459–472. https://doi.org/10.1016/j.ptlrs.2022.01.007

2. Shyshchak M., Topilnytskyy P., Romanchuk V., Yarmola T., Dudok, G. Development and research of demulsifier compositions for dewatering of heavy crude oils from Ukrainian fields. *Chemistry & Chemical Technology*. 2025. Vol. 19 (2). P. 378–384. https://doi.org/10.23939/chcht19.02.378

3. Kumar S., Rajput V. S., Mahto, V. Experimental studies on demulsification of heavy crude oil-in-water emulsions by chemicals, heating, and centrifuging. *SPE Production & Operation.* 2021. Vol. 36(02). P. 375–386. https://doi.org/10.2118/204452-PA

4. Chandran K., Krishnan S., Sinnathambi C. M. Application of different groups of demulsifier in water-in-oil emulsion. *Journal of Applied Science and Agriculture*. 2014. Vol. 9 (18). P. 245–248.

ВПЛИВ ДЕПРЕСОРА НА РОЗПОДІЛ ЗА ЧИСЛОМ ВУГЛЕЦЕВИХ АТОМІВ У ПАРАФІНИСТИХ ВІДКЛАДАХ

Шищак Олег Миронович,
аспірант ІІІ курсу, oleh.m.shyshchak@lpnu.ua
Національний університет «Львівська політехніка», Україна

Топільницький Петро Іванович,
кандидат технічних наук, доцент, petro.i.topilnytskyi@lpnu.ua
Національний університет «Львівська політехніка», Україна

Утворення парафінистих відкладів при транспортуванні сирої високопарафінистої нафти трубопроводами створює цілий ряд проблем з величезними економічними наслідками. Тверді парафінисті відклади зазвичай містять алкани (парафіни) з високою молекулярною масою і довгим вуглеводневим ланцюгом, де кількість атомів вуглецю становить від 18 до 75 [1].

Розподіл числа атомів вуглецю (РЧВ) для парафінистих відкладів − це міра того, які вуглеводні присутні у відкладах, що суттєво впливає на їх властивості. При охолодженні парафінистої нафти в першу чергу кристалізуються важкі вуглеводні з більшим числом атомів вуглецю (C_{20} і більше). Розуміння цього розподілу має вирішальне значення для прогнозування стійкості відкладів, що допомагає в обслуговуванні трубопроводів. Окрім того, РЧВ є надзвичайно важливим для передбачення фізичних властивостей і поведінки нафти з депресорами.

Раніше авторами були проведені дослідження щодо вибору ефективного депресора для покращення низькотемпературних властивостей високопарафінистої нафти Долинського родовища [2]. Таким виявився промисловий депресор Dodiflow 5236 (Clariant, Швейцарія).

Наступним етапом досліджень було вивчення впливу зазначеного депресора на РЧВ парафінистих відкладів, утворених з сирої нафти, характеристика якої приведена в табл. 1.

Таблиця 1. Основні фізико-хімічні характеристики нафти Долинського родовища

Показники	Значення
Густина при 20°С, кг/м^3	848
Температура початку кристалізації, ºС	27,8
Температура застигання, °С	19,0
Вміст парафіну, % мас.	9,5
Вміст смол сірчанокислотних, % мас.	19,0
Вміст асфальтенів, % мас.	1,2

Визначення РЧВ проводили за допомогою методу високотемпературної газової хроматографії з використанням хроматографа Agilent-6890, обладнаного хроматографічною колонкою довжиною 30 м і полум'яно-іонізаційним детектором.

Середню кількість атомів вуглецю розраховували за формулою:

$$n = \sum n\omega_n$$

де n − середнє число атомів вуглецю; ω_n − масова частка певного парафінового компонента, n − число атомів вуглецю у цьому компоненті.

На рисунках 1-3 представлені РЧВ для вихідної нафти і відкладів, утворених протягом 24 год. з сирої нафти без депресора і з його додаванням.

Очікувано, число атомів вуглецю у відкладах зміщується в сторону більших чисел порівняно з вихідною нафтою, тому що високомолекулярні алкани кристалізуються в першу чергу. Наприклад, для сирої нафти пік приходиться на C_{29}, а для відкладів – на C_{31}.

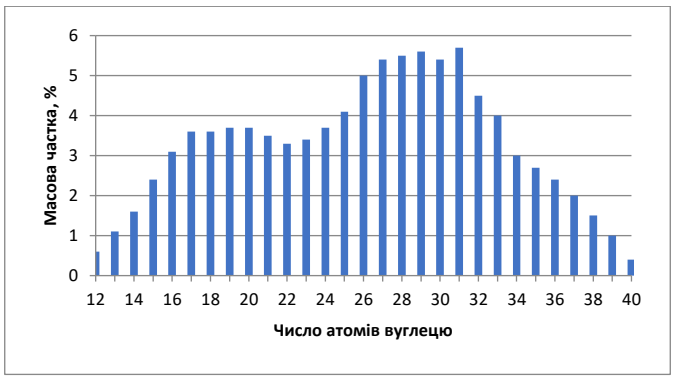


Рис. 1. Розподіл за числом атомів вуглецю для Долинської нафти

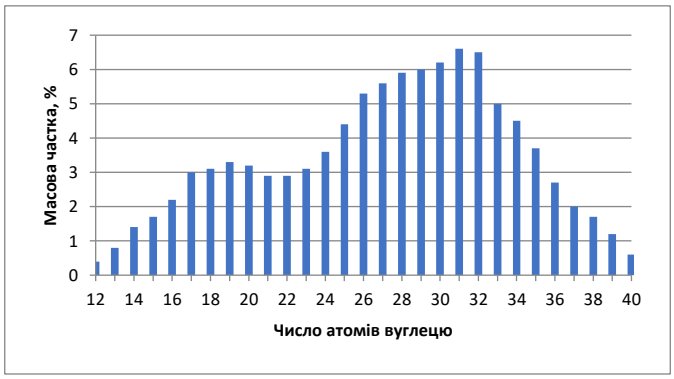


Рис. 2. Розподіл за числом атомів вуглецю для відкладів, утворених з Долинської нафти без депресора

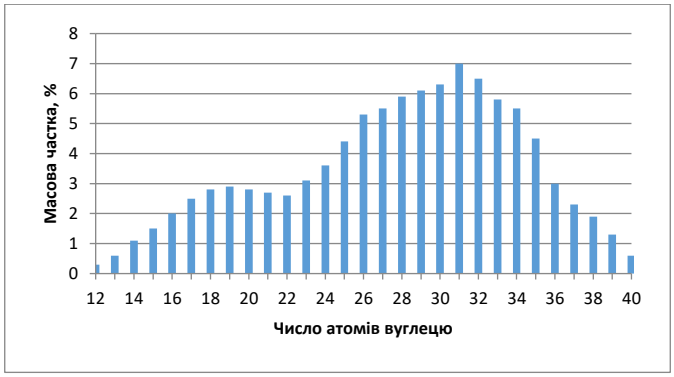


Рис. 3. Розподіл за числом атомів вуглецю для відкладів, утворених з Долинської нафти з депресором Dodiflow 5236

Додавання депресора до нафти сприяє утворенню більш важких компонентів з більшим числом атомів вуглецю (рис. 2 і 3). Безпосередньо депресор не змінює загальний розподіл за атомами вуглецю у високопарафінистих нафтах, але змінює спосіб агрегації молекул парафіну, а також структуру і морфологію його кристалів, запобігаючи утворенню великих і жорстких кристалів. Ймовірно, депресор сокристалізується з молекулами парафіну або виступає в якості нових центрів нуклеації, що призводить до утворення більш дрібних, більш дисперсних кристалів парафіну, які підтримують текучість нафти при низьких температурах.

Згідно розрахунків за формулою (1), середнє число атомів вуглецю становило 24,8 для сирої нафти, 27 для відкладів, утворених з нафти без депресора і 27,4 для відкладів, утворених з нафти з додаванням Dodiflow 5236. Найімовірніше, депресор перешкоджає звичайному утворенню кристалів парафіну, що призводить до зміни розміру, форми та складу відкладів.

Як наслідок, депресор збільшує середнє число вуглецевих атомів, одночасно знижуючи загальну швидкість відкладень парафіну. Ця зміна середнього числа атомів вуглецю сприяє іншим змінам властивостей парафінистих відкладів, таким як ослаблення механічної міцності та зниження швидкості відкладення парафіну [3].

Депресори модифікують парафінисті відклади, роблять їх менш когезивними, що знижує їх масу та межу плинності і полегшує видалення. Це відбувається через зміну розміру, форми та структури кристалів парафіну, а також через зменшення кількості асфальтенів та смол, що містяться у відкладах. З іншої сторони, хоча застосування депресорів полегшує видалення відкладів, вони можуть ставати твердішими.

1. Ragunathan T., Husin H., Wood C. D. Wax formation mechanisms, wax chemical inhibitors and factors affecting chemical inhibition. *Applied Sciences*. 2020. Volume 10 (2). Article 479. https://doi.org/10.3390/app10020479

2. Shyshchak O. M., Topilnytskyy P. I., Skorokhoda V. Y. Selection and study of depressant additives to improve the lowtemperature properties of high waxy crude oils from the western region of Ukraine. *Voprosy khimii i khimicheskoi tekhnologii*. 2024. No. 6. P. 129–135. https://doi.org/10.32434/0321-4095-2024-157-6-129-135

3. Li W., Li H., Da H., Hu K., Zhang Y., Teng L. Influence of pour point depressants (PPDs) on wax deposition: A study on wax deposit characteristics and pipeline pigging. *Fuel Processing Technology*. 2021. Volume 217. Article 106817. https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2021.106817

НИЗЬКОТЕМПЕРАТУРНИЙ ПІРОЛІЗ НАФТОВИХ ШЛАМІВ, УТВОРЕНИХ НА НАФТОПЕРЕРОБНИХ ЗАВОДАХ

Юзифишин Володимир Михайлович,
аспірант ІІІ курсу, volodymyr.m.yuzyfyshyn@lpnu.ua
Національний університет «Львівська політехніка», Україна

Знак Юрій Зеновійович,
аспірант IV курсу, yurii.z.znak@lpnu.ua
Національний університет «Львівська політехніка», Україна

Гринишин Олег Богданович,
доктор технічних наук, професор, oleh.b.hrynyshyn@lpnu.ua
Національний університет «Львівська політехніка», Україна

Нафтові шлами становлять основну частину нафтовмісних відходів і належать до найнебезпечніших серед промислових залишків. Щороку обсяг таких відходів зростає, що робить питання їхньої безпечної та раціональної утилізації все більш актуальним. Зазвичай нафтові шлами зберігаються у спеціально обладнаних ставках, розташованих поблизу нафтопереробних або нафтовидобувних підприємств. Подібний спосіб зберігання призводить до забруднення ґрунтів, підземних вод і атмосфери, створюючи суттєву екологічну загрозу. Хімічний і фізичний склад шламів змінюється залежно від умов їхнього утворення, технологічного процесу та тривалості зберігання [1].

Відомі технології переробки нафтових шламів (НШ) базуються переважно на виділенні вуглеводневої фракції шляхом центрифугування. Отриману вуглеводневу частину зазвичай направляють на подальше використання як паливну сировину або для спільної переробки з нафтою на НПЗ [2]. Спалювання ж цієї фракції вважається екологічно недоцільним, адже супроводжується утворенням токсичних димових газів та золи, що забруднює довкілля [3]. Методи термічної утилізації нафтовмісних шламів досі залишаються недостатньо поширеними через високу вартість обладнання, обмежене фінансування та низьку зацікавленість державних структур. Особливу увагу серед таких технологій привертає низькотемпературний піроліз, який передбачає термічний розклад вуглецевовмісних відходів у безкисневому середовищі з утворенням газоподібних, рідких і твердих продуктів. На відміну від спалювання, піроліз не передбачає процесу горіння, а лише розщеплення складних органічних молекул на простіші сполуки. Основними перевагами цього методу є екологічність (мінімальні викиди в атмосферу), енергетична доцільність (піролізний газ можна використовувати для підтримання температури процесу), а також можливість ресурсного відновлення — перетворення відходів у корисні продукти. Крім того, технологія відзначається універсальністю, адже придатна для переробки різних типів змішаних вуглецевих відходів. На практиці низькотемпературний піроліз уже застосовується для переробки зношених шин, пластикових відходів, пакувальних матеріалів і твердих побутових решток [4]. Такий процес можна розглядати як перспективний напрям розвитку екологічно безпечних технологій, що поєднує економічну вигоду, енергетичну ефективність та зменшення антропогенного навантаження на довкілля. Разом із тим, у науковій літературі досі бракує досліджень, присвячених можливості піролізної переробки нафтових шламів. На нашу думку, вивчення цього процесу є доцільним, адже воно дозволяє не лише зменшити обсяги небезпечних відходів, а й отримати додаткову кількість компонентів рідких палив – пироконденсатів, які можуть бути використані у паливному секторі.

У даній роботі для досліджень застосовували нафтові шлами, що утворилися під час технологічних процесів на нафтопереробному заводі. За своїми фізичними характеристиками вони являють собою густу пастоподібну масу, яка містить значну кількість води, а також механічні домішки різного походження та розміру.

Піроліз проводили у лабораторній установці періодичної дії, що включала металевий реактор, систему охолодження та збору конденсатів, а також блок керування температурою. Як вихідну сировину використовували як органічну частину нафтошламу, так і брутто-нафтошлам (нерозділений). Процес піролізу здійснювали при температурі 420 °С.

У результаті термічної обробки було отримано основні продукти:

– рідкий піроконденсат – суміш вуглеводневих сполук, що утворилися внаслідок термодеструкції;
– твердий залишок у реакторі;
– піролізні гази;
– вода (у випадку піролізу брутто-нафтошламу).

Матеріальний баланс процесу піролізу наведено в таблиці 1.

Таблиця 1. Матеріальний баланс процесу піролізу нафтошламу

Сировина і продукти	К-сть, % мас.	
	Органічна частина НШ	Брутто-нафтошлам
Взято:		
Нафтошлам	100,0	100,0
Отримано:		
Піроконденсат	84,0	61,1
Залишок	9,6	8,3
Газ і втрати	6,4	5,4
Вода	0	25,2
Всього	100,0	100,0

На наступному етапі дослідження здійснювалося фракційне розділення піроконденсату на три основні вузькі фракції – бензинову, дизельну та залишкову. Метою цього етапу було визначення фізико-хімічних властивостей кожної з фракцій і встановлення можливих напрямів їх практичного застосування.

Доведено, що нафтові шлами, які утворюються в процесі нафтопереробки, можуть бути успішно перероблені методом низькотемпературного піролізу з утворенням як рідких, так і твердих продуктів, придатних для подальшого використання у промисловості. Зокрема, світлі фракції піроконденсату, виділені після фракційного аналізу, можуть слугувати сировиною для виробництва моторних палив. Разом із тим, для безпосереднього застосування цих фракцій у паливній сфері необхідна їхня подальша обробка методом гідроочищення (гідрооблагородження). Така обробка спрямована на гідрування ненасичених вуглеводнів, зменшення вмісту сірковмісних сполук і підвищення октанового числа бензинової фракції. Залишкова фракція піроконденсату може бути використана як компонент мазуту або як добавка до пластичних мастил, що підвищує їхню в’язкість і термостійкість. Крім того, твердий залишок, який утворюється під час піролізу нафтових шламів, доцільно застосовувати в дорожньому будівництві – зокрема, при формуванні нижніх шарів дорожнього полотна чи як модифікуючу добавку до асфальтобетонних сумішей.

1. Знак Ю. З., Гринишин О. Б., Червінський Т.І. Вивчення складу та властивостей нафтошламів, утворених внаслідок переробки нафти. *Chemistry, Technology and Application of Substances*. 2023. Vol. 6, no. 1. P. 69-74.

2. Johnson O., Affam A. Petroleum sludge treatment and disposal: A review. *Environmental Engineering Research.* 2019. Vol. 24, no. 2. P. 191-201.

3. Chelyadyn V., Bogoslavets M., Chelyadyn L., Poznyak O., Novosad P. Sludge of Oil Refining Units and Their Processing. *Journal of Ecological Engineering*. 2020. Vol. 21, no. 7. P. 169-177.

4. Chen Dezhen, Yin Lijie, Huan Wang, He Pinjing. Pyrolysis technologies for municipal solid waste: A review. *Waste Management*. 2014. Vol. 34, no. 12. P. 2466-2486.

СЕКЦІЯ 5:

Прикладні аспекти хімії (фармацевтична, косметична, харчова, криміналістична, комп'ютерна, медична хімія, агрохімія)

THE RELEVANCE OF SCIENTIFIC RESEARCH IN THE FIELD OF FORENSIC CHEMISTRY

Kokoshko Fedir Ivanovych
Candidate of Historical Sciences, Associate Professor of the Department of Law,
georgbas313@gmail.com
Private higher educational institution «Pylyp Orlyk International Classical University»
Mykolaiv, Ukraine

Kliuiev Heorhii Alexandrovich
applicant for the second (master's) level of higher education in the specialty 081 «Law»,
georg2002bas@gmail.com
Private higher educational institution «Pylyp Orlyk International Classical University»
Mykolaiv, Ukraine

The importance of chemistry in human life is increasing every day [1]. Chemistry helps create new materials and medicines that improve the quality of life. Thanks to chemical research, effective methods for environmental protection are emerging.

Chemical processes play a key role in energy production. They power batteries, fuel cells, and solar panels. This contributes to the development of alternative energy sources and reduces dependence on fossil fuels.

Chemistry is crucial for human health [1]. It enables the creation of medicines for treating various diseases. Additionally, chemical analyses assist in diagnosing illnesses and monitoring food quality.

However, with the development of chemical technologies, questions of legal regulation of these processes also arise. Legislation defines standards and safety regulations for the production, storage, and use of chemical substances, preventing harm to human health and the environment. The law regulates the use of chemical substances in industry, medicine, and everyday life, establishing liability for violations of these norms.

Thanks to legal acts, control over compliance with safety standards is ensured, which helps reduce accidents and the accidental release of harmful substances. The legal framework also promotes innovation, protects intellectual property in the field of chemistry, and stimulates the development of new technologies in accordance with environmental requirements. Thus, chemistry and law are closely interconnected, ensuring the safe and effective use of chemical knowledge in the modern world.

The relevance of scientific research in the field of forensic chemistry is growing due to the need to improve the accuracy and reliability of forensic examinations. In modern conditions, rapid development of technologies and chemical methods allows for obtaining clearer and more substantiated results, which are essential for justice. Studying new chemical substances and their properties facilitates the development of modern methods for detecting poisons and substances used in crimes. This is especially important in the context of increasing numbers of complex criminal cases requiring high-tech approaches. The relevance of research in forensic chemistry is also driven by the need to develop effective means of preventing and deterring crimes involving chemical substances. Studying new samples, compounds, and substances allows for faster and more accurate identification of potentially harmful components.

Scientific research in this field contributes to improving examination methods and increasing their reliability. The implementation of modern analytical technologies, such as mass spectrometry and chromatography, enables obtaining highly precise results even at very low concentrations of substances. This ensures more objective and convincing confirmation of facts important for the judicial process. Research also promotes automation and standardization of laboratory procedures, reducing the likelihood of human errors. This is particularly important in criminal cases, where the accuracy of the expert analysis is crucial.

The significance of scientific research in forensic chemistry is driven by the need to solve complex interdisciplinary issues. Collaboration with toxicology, pharmacology, and physiology [2] allows for a more comprehensive understanding of the mechanisms of action of substances in the body. This enables establishing causal links between identified substances and clinical symptoms. Moreover, research helps determine whether the detected substance could have caused death or other consequences for the victim. Such an approach increases the objectivity and validity of expert conclusions.

An important aspect is also the development of new chemical reagents and methods that allow for the detection of poisons in complex samples. This is especially relevant in the study of food products, pharmaceuticals, and the environment. Studying new substances and their properties helps create databases for rapid identification of compounds in criminal cases. This improves the speed and quality of forensic chemical examinations. At the same time, expanding scientific knowledge allows for an effective fight against new types of crimes related to chemical substances.

Interdisciplinary cooperation between chemists, medical professionals, forensic scientists, and law enforcement [2] is of paramount importance. Joint efforts allow for a comprehensive approach to investigations and increase their efficiency. The study of biological materials such as blood, excretions, or samples from crime scenes requires high professionalism and modern methods. Scientific research promotes the professional development of specialists and their ability to respond quickly to new challenges. This ensures more reliable and faster crime detection using forensic chemistry.

Overall, scientific research in the field of forensic chemistry is an essential factor of modern criminal justice. It broadens the capabilities of expert activities, enhances trust in forensic examinations, and ensures their soundness. In the conditions of continuous advancement of chemical technologies and increasing complexity of crimes, scientific research becomes the guarantee of fair and objective justice. Therefore, active research in this field is an integral part of the modern forensic process.

1. J.G. Хімія в житті людини. URL: https://dovidka.biz.ua/himiya-v-zhitti-lyudini/

2. Hampton University Бакалавр наук з хімії з судовою хімією. URL: https://www.bakalavratosvita.com/institutions/hampton-university/bakalavr-nauk-z-himiyi-z-sudovoyu-himiyeyu

ОПТИМІЗАЦІЯ МЕТОДІВ АНАСТЕЗІЇ ДЛЯ ХІРУРГІЧНИХ ВТРУЧАНЬ ДРІБНИХ ТВАРИН

Бобрівник Ольга Олександрівна,
здобувач освіти ІІ курсу, bobrivnuk1@gmail.com
Національний університет біоресурсів і природокористування України, Україна

Кротенко Вікторія Володимирівна,
кандидат хімічних наук,
доцент кафедри загальної, органічної та фізичної хімії, krotenkoviktoria@ukr.net
Національний університет біоресурсів і природокористування України, Україна

Анестезія є ключовим етапом хірургічного втручання, що забезпечує знеболення, седацію та м'язову релаксацію у дрібних тварин. У ветеринарній практиці ефективність знеболення безпосередньо пов'язана не лише з комфортом тварини, а й з результатами самої операції, швидкістю відновлення та ризиком післяопераційних ускладнень. Проблема полягає в тому, що жоден із наявних анестетиків не здатен одночасно забезпечити всі необхідні ефекти при мінімальному впливі на життєво важливі системи організму. Це зумовлює потребу в оптимізації комбінацій препаратів, які б дозволили знизити дозове навантаження та ризик побічної дії [1].

У ході дослідження були задіяні 125 білих лабораторних мишей, поділених на п'ять груп: контрольну, якій вводили Седазин, та чотири дослідні, де використовували кетамін, буторфанол і пропофол у різних поєднаннях. Усі препарати вводили внутрішньом'язово, крім пропофолу, який застосовували внутрішньовенно. Спостереження за фізіологічними показниками здійснювалися у три етапи: до введення препарату, через 15 хвилин після ін'єкції та після пробудження. Враховувалися частота дихання, серцевий ритм, рівень седації, поведінкові реакції, апетит та стан дефекації протягом п'яти днів після введення препаратів.

- **Седазин**, як стандартний α2-адренергічний агоніст, демонстрував помірну седацію, однак викликав подовження часу пробудження і зміни частоти дихання на 6,7 %. Дексмедетомідин, у свою чергу, виявився більш селективним і забезпечував глибшу седацію, хоча також збільшував час відновлення і впливав на респіраторну функцію. Було відзначено зростання частоти дихання на 5 % та подовження періоду пробудження на 8 %, що свідчить про кумулятивний вплив препарату при повторному використанні або вищих дозах.
- **Кетамін** забезпечував надійну аналгезію, однак у більшості тварин спостерігалося гіперзбудження після пробудження, що значно ускладнює його застосування як моноанестетика. Попри гарний контроль больового синдрому, його дисоціативний механізм дії потребує доповнення іншими препаратами для нівелювання побічних ефектів. Буторфанол показав високий рівень аналгезії без фази збудження, що свідчить про його доцільність як компонента у комбінованих схемах. Його ефективність особливо помітна при сполученні з пропофолом [2].
- **Пропофол**, завдяки своїй здатності забезпечувати швидке пробудження та короткотривалу, але керовану седацію, став найперспективнішим компонентом у комбінаціях. У поєднанні з буторфанолом він продемонстрував досить стабільний знеболювальний ефект та мінімальний стрес у тварин після відновлення. Поведінкові реакції тварин були наближеними до нормальних вже у перші години після операції, а метаболічні показники поступово стабілізувалися без виражених відхилень [3].
- **Комбінація кетаміну з медетомідином** дала змогу знизити ризик гіперзбудження, однак призводила до деякого пригнічення життєво важливих функцій, зокрема частоти серцевих скорочень. Цей варіант доцільний для короткотривалих, але інтенсивних хірургічних втручань, які потребують глибокого наркозу зподальшим контролем фізіологічних параметрів.

Спостереження за апетитом, дефекацією та загальною активністю протягом післяопераційного періоду виявили окремі порушення, які, ймовірно, можуть бути пов'язані з метаболічним навантаженням на печінку і шлунково-кишковий тракт. Це особливо актуально для схем з високими дозами α2-агоністів, які, як було встановлено, можуть впливати на обмін речовин [4].

На основі проведеного дослідження, можна зазначити найефективніше застосування комбінованих схем анестезії, які поєднують аналгетики різних фармакологічних груп з метою зменшення дозового навантаження та зниження ризику побічних ефектів. Найбільш оптимальним варіантом для малих хірургічних втручань виявилася комбінація буторфанолу з пропофолом, яка забезпечує гарний баланс між ефективністю знеболення, швидким пробудженням та мінімальним впливом на життєво важливі системи організму.

Майбутнє анестезіології у ветеринарній медицині залежитиме від розвитку індивідуалізованих протоколів, впровадження нових препаратів з високою селективністю дії та низьким метаболічним навантаженням, а також узастосування сучасних моніторингових технологій, які дозволяють точно контролювати стан тварини під час наркозу. Видається важливим також і вдосконалення приладів для прохідності верхніх дихальних шляхів. Перспективним напрямом є інтеграція біотехнологій, зокрема використання наноформ лікарських засобів та персоналізованої фармакології. Завдяки цьому анестезія стане більш ефективною та безпечною, а рівень смертності знизиться до мінімуму.

1. Омельяненко О. Є. Обґрунтування застосування дексмедетомідину у ветеринарній практиці у разі хірургічних втручань у дрібних домашніх тварин. *Вісник Полтавської державної аграрної академії.* 2020, № 1. С.154-160.

2. Nazaruk N. V. To the method of study of preparations that are often used in anesthetic practice for surgical interventions in small animals. *Scientific Messenger of LNU of Veterinary Medicine and Biotechnologies* 2018. *20*(92). P.218-221. https://doi.org/10.32718/nvlvet9245

3. Анестезія у дрібних тварин: Пропофол / Пер. з англ. Київ: Асоціація анестезіологів України, 2018. 8с. https://aaukr.org/wp-content/uploads/2018/08/PROPOFOL_A5_prav.pdf

4. FECAVA. Guidance Notes 6 – Anaesthesia and analgesia. *Federation of European Companion Animal Veterinary Associations. Retrieved from,* 2023. https://www.fecava.org/wp-content/uploads/2023/03/FECAVA-guidance-notes-6-UA.pdf.

СИНТЕЗ БІОРОЗКЛАДНИХ КОМПОЗИТІВ З ТЕХНОЛОГІЧНОЇ КОНОПЛІ

Вініченко Анастасія Ігорівна
здобувач повної вищої освіти ІІ курсу, nastya.vinichenko.03@ukr.net
Сумський державний університет, Україна

Пономарьова Людмила Миколаївна
доцент, l.ponomarova@chem.sumdu.edu.ua
Сумський державний університет, Україна

У XXI столітті науковці всього світу дуже велику увагу приділяють дослідженням, що мають за мету зменшити кількість утворення синтетичного пластику та його відходів. Це відбувається через те, що синтетичні пластмаси використовуються в багатьох галузях, але використані та викинуті товари, а також мікрочастинки що вони лишають дуже забруднюють навколишнє середовище, бо терміни їх розкладання розтягуються на сотні років. Тому більшість наукових робіт зосереджені на синтезі замінників – біорозкладних матеріалів.

Біорозкладні матеріали – це матеріали, що на відміну від синтетичних пластмас, розкладаються за природних умов і певний час до безпечних, для навколишнього середовища, складових. Під час взаємодії мікроорганізмів подібні матеріали розпадаються на метан, вуглекислий газ та воду. Виробництво біорозкладних матеріалів можливо з використання різних ресурсів від природних і відновлювальних до створених штучно та які не відновлюються самостійно [1].

Процес, який описує розкладання біорозкладних композитів називають біодеградацією. Даний процес проходить у кілька стадій і під впливом різних факторів. До цих факторів відносяться характеристики матеріалу, його ферментативні властивості та фізико-хімічні умови, що супроводжують процес біорозкладу матеріалів і мають неабиякий вплив на процес та швидкість його перебігу [1-2].

Конопля – це рослина, яка краще за будь-яку рослину в багатьох аспектах і має великий відсоток використання ще з часів середньовіччя. Не зважаючи на заборону в Європі через наркотичні властивості, Франція не відмовилась від потенціалу цієї рослини і завдяки дослідженням, що показували на переваги коноплі дану заборону було знято для сортів з мінімальною кількістю наркотичних речовин [3-4].

Конопля – двостатева рослина, зі швидким ростом і невибагливістю до поливу та умов вирощування, має в своєму складі велику кількість целюлози. Жіночу рослину називають матірка, чоловічу – плоскінь. Проте розрізняти їх можливо не лише за назвами, а і за зовнішнім виглядом, бо матінки мають плосконі суцвіття, нижче стебло, більшу кількість листя, а дозрівання відбувається на кілька тижнів пізніше ніж у плоскіня, отримані з матірки волокна більш еластичні і м’які, але не міцні. Щодо плоскіня, то стебло у нього вище, менша кількість листя, дозрівають на кілька тижнів раніше матірки, проте отримана кількість волокон більша. Вигляд матірки і плоскіня можна побачити на рисунку 1 (а, б) [3].

Рис. 1. а) Вигляд матірки. б) Вигляд плоскіня.

Волокна коноплі вже використовуються для створення багатьох речей з побутового і промислового життя людства завдяки різній переробці волокон. До цих промисловостей відносяться текстиль, автомобільна і будівельна галузі, пакувальна промисловість. Також волокна коноплі використовуються для створення біорозкладних композитів, що використовуються не тільки у раніше згаданих галузях, а й намагаються інтегрувати у нові галузі використання [5-6].

Під час дослідження нами був проведений синтез біорозкладних композиті з конопляними волокнами із використанням в рецептурах наступних згущувачів: PLA-пудра, агар-агар, желатин, кукурудзяний і картопляний крохмалі, казеїн і поєднання кількох згущувачів під час створення зразків. До успішних синтезованих біокомпозитів можна віднести зразки зі згущувачами: агар-агар, желатин, кукурудзяний і картопляні крохмалі, а до невдалих – зразки з PLA-пудрою і казеїном. Розпочнемо саме з невдалих зразків.

Отримана проба з використанням PLA-пудри, у вигляді суміші була схожа на пластилін, що прекрасно тримає форму. Проте після просушки, проба стала дуже крихкою і не витримувала навантаження на неї, навіть мінімального. На рисунку 2 (а, б) показано вигляд суміші і висушені проби.

Рис. 2. а) Отримана суміш з PLA-пудрою. б) Висушені проби з PLA-пудрою.

На рисунку 3 (а, б) зображені отримана суміш з казеїном та сформовані з неї зразки. У даному випадку суміш липла до рук, хоча форму тримала. Після застигання викладені вироби стали крихкими і розкришились при спробі її перенести.

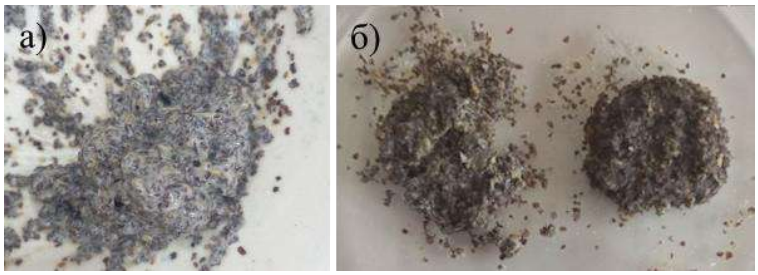


Рис. 3. а) Отримана суміш з казеїном. б) Висушені проби з казеїном.

Наступними розглянемо успішно синтезовані зразки. На рисунку 4 показано суміш разом із висушеною пробою із додаванням агар-агару. Хоча суміш вийшла за консистенцією більш рідкою, ніж пластичною, але на противагу цьому вона швидко застигла, тримала форму й міцна. Даний біокомпозит показує найкращі характеристики.

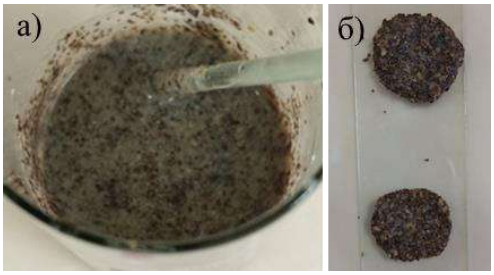


Рис. 4. а) Отримана суміш з агар-агаром. б) Висушені проби з агар-агаром.

На рисунку 5 (а, б) зображено суміш і проби в яких було використано такий згущувач, як желатин. Отримана суміш мала желеподібну консистенцію й добре тримала форму, а після застигання проби лишились цільними й міцними.

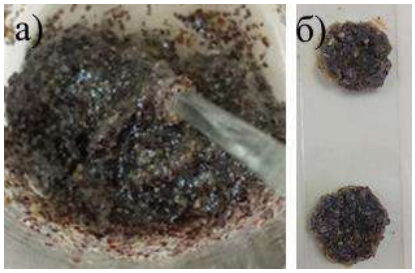


Рис. 5. а) Отримана суміш з желатином. б) Висушені проби з желатином.

На рисунку 6 (а, б) зображено суміш і проби, для яких використовувався кукурудзяний крохмаль, як згущувач. Суміш вийшла за консистенцією, як пластилін або глина, що при формуванні зберегла форму, а після застигання стала міцною.

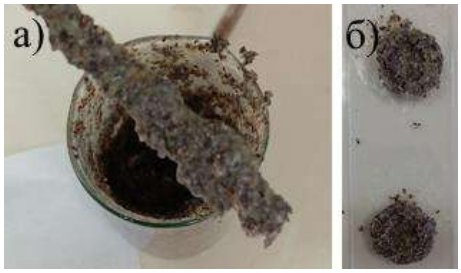


Рис. 6. а) Отримана суміш з кукурудзяним крохмалем. б) Висушені проби з кукурудзяним крохмалем.

На рисунку 7 (а, б) зображено отриману суміш і сформовані проби з використанням картопляного крохмалю. Синтезована суміш на вигляд була як гель-желе за консистенцією, яким дуже легко сформувати проби, бо вона тримає форму. Після застигання проби не є крихкими, а навпаки міцними.

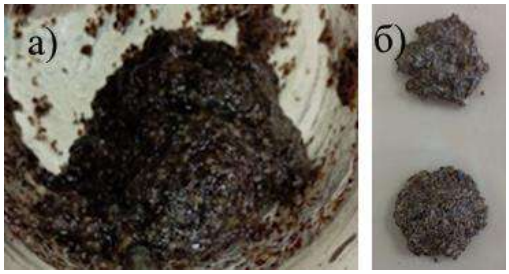


Рис. 7. а) Отримана суміш з картопляним крохмалем. б) Висушені проби з картопляним крохмалем.

Завдяки отриманим зразкам ми дійшли висновку, що найкращий згущувач для створення біокомпозитів з конопляних волокон – це агар-агар, через швидкість його застигання та міцності. Також добре можуть підійти такі згущувачі, як желатин, кукурудзяний і картопляний крохмалі для створення біорозкладного пластики з коноплі, через міцність отриманих зразків. Найгірше всього проявили себе такі згущувачі, як PLA-пудра і казеїн, бо проби з даними згущувачами вийшли занадто крихкими в порівнянні з іншими.

1. Samir A. et al. Recent advances in biodegradable polymers for sustainable applications. *Npj materials degradation*. 2022. Vol. 6, no. 1. URL: https://doi.org/10.1038/s41529-022-00277-7.

2. Tang C. et al. Degradable living plastics programmed by engineered spores. *Nature*

chemical biology. 2024. URL: https://doi.org/10.1038/s41589-024-01713-2.

3. Городецький О. С., Качан Л. М., Вахній С. П., Хахула В. С.Технічні культури: навч. посіб. / За ред. О.С. Городецького. Біла Церква, 2018. 288 с.

4. Ahmed A. T. M. F. et al. Hemp as a potential raw material toward a sustainable world: a review. *Heliyon*. 2022. Vol. 8, no. 1. URL: https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e08753.

5. Фабрика сумикамволь. Фабрика Сумикамволь. URL: https://www.fabrika.sumy.ua.

6. Ramesh M., Bhoopathi R. Chapter 10 - Hemp fibers, their composites and applications. *Plant fibers, their composites, and applications*. 2022. P. 233–252. URL: https://doi.org/10.1016/B978-0-12-824528-6.00013-8.

ОПТИМІЗАЦІЯ ШЛЯХІВ СИНТЕЗУ НОВОГО ІНГІБІТОРУ ПРОТЕАЗИ M_{PRO} SARS-COV-2 З УРАХУВАННЯМ ЕКОЛОГІЧНОЇ СКЛАДОВОЇ ПРОЦЕСУ

Гелеверя Анна Олександрівна
аспірант, annageleverya1@gmail.com
Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна, Україна
University of Chemistry and Technology, Prague, Czechia,

Коваль Наталія Володимирівна
заступник директора, N.Koval@lifechemicals.com
ТОВ "Хімічна компанія «Сполука», Україна

Євсєєва Лариса Валентинівна,
старший викладач, lar0858@gmail.com
Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна, Україна

Коваленко Сергій Миколайович
доктор хімічних наук, професор, kovalenkosergiym@gmail.com
Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна, Україна

Кириченко Олександр Васильович
доктор хімічних наук, професор, a.v.kyrychenko@karazin.ua
Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна, Україна

Калугін Олег Миколайович
доктор хімічних наук, професор, onkalugin@gmail.com
Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна, Україна

У попередніх дослідженнях нами було проведено *in silico* моделювання, в результаті якого знайдено ряд нових молекулярних структур із високим потенціалом як інгібіторів головної протеази (M_{pro}) вірусу SARS-CoV-2 [1]. Серед них було виявлено нову хімічну сполуку – 1-(2-оксо-2-((піридин-2-ілметил)(тієно[3,2-b]тіофен-2-ілметил)аміно)етил)-5-(4-(трифторметил)феніл)-1H-1,2,3-триазол-4-карбоксилову кислоту (**1**) (рис. 1), яка продемонструвала високу афінність до активного центру протеази M_{pro} SARS-CoV-2. Цю сполуку ми обрали як молекулу-лідер для подальших досліджень у напрямі створення потенційних терапевтичних засобів проти COVID-19.

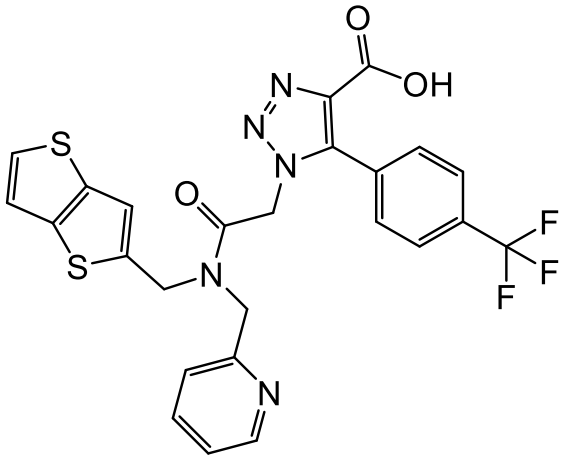


Рис.1. 1-(2-оксо-2-((піридин-2-ілметил)(тієно[3,2-b]тіофен-2-ілметил)аміно)етил)-5-(4(трифторметил)феніл)-1H-1,2,3-триазол-4-карбоксилова кислота (**1**).

Для молекули-лідера (**1**) була розроблена схема синтезу, що в лабораторних умовах реалізується як семистадійний процес. Перехід від грамового масштабу хімічного синтезу в лабораторії до промислового виробництва потребує ретельної оптимізації. Цей етап включає врахування вимог безпеки, мінімізацію впливу на довкілля, а також відповідність нормативним стандартам, встановленим для фармацевтичних субстанцій. Така оптимізація є ключовою передумовою для подальшого трансферу лабораторних результатів у відтворюваний та економічно доцільний виробничий процес.

У подальших дослідженнях нами проведено оптимізацію синтетичного шляху молекули-лідера (**1**) з метою масштабування технології виробництва нової фармацевтичної субстанції. Для оцінки екологічних характеристик синтетичних маршрутів застосовано програмні інструменти EcoScale [2], що дозволило здійснити кількісний аналіз та визначити вплив кожної стадії схеми синтезу сполуки (**1**). На основі отриманих результатів ідентифіковано потенційні екологічні ризики окремих процесів. З метою підвищення екологічної безпечності та ефективності синтезу використано базові принципи «зеленої хімії» [3], що забезпечило системний підхід до оптимізації ключових параметрів технології.

У фармацевтичній промисловості розчинники становлять значну частку використаних матеріалів і відходів, що підлягають утилізації. Тому їх вибір є одним із ключових аспектів під час розробки синтетичного процесу. У ході роботи було проаналізовано можливість скорочення кількості стадій та покращення показника “інтенсивність маси процесу”.

За результатами досліджень розроблено оптимізований метод синтезу: кількість стадій зменшено до чотирьох, проведено заміну розчинників на більш екологічні та безпечні, скорочено час реакцій і знижено співвідношення загальної маси використаних матеріалів до маси кінцевого продукту. Комплексний підхід до оптимізації синтетичних маршрутів дав змогу підвищити екологічні характеристики технології одержання цільової сполуки (**1**) та загальну ефективність процесу з урахуванням перспективи його масштабування.

В результаті досліджень розроблено оптимізований метод синтезу: зменшено кількість стадій процесу до 4-х, проведено заміну розчинників на більш екологічні і безпечні, зменшено час реакції та відношення загальної маси матеріалів, використаних у процесі, до маси кінцевого продукту. Комплексний підхід до оптимізації синтетичних шляхів дозволив покращити екологічні параметри технології отримання цільової молекули (**1**), підвищити загальну ефективність процесу з урахуванням перспективи масштабування виробництва.

Дослідження виконувалося за фінансової підтримки гранту 2021.01/0062 «*Молекулярний дизайн, синтез та скринінг нових противірусних фармацевтичних інгредієнтів для терапії інфекційного захворювання COVID-19*» Національного фонду досліджень України.

1. Kyrychenko A. V., Geleverya A. O., Yevsieiva L. V., Kovalenko S. M., Kalugin O. N. Anti-COVID-19 drug discovery and de novo molecular generation of evolutionary libraries of non-covalent inhibitors of main protease of coronavirus SARS-COV-2. Всеукраїнська науково-практична конференція з міжнародною участю «Сучасна фармація: реалії сьогодення та перспективи розвитку». 9–12 квітня 2024 р., Одеса, Одеський національний університет імені І.І. Мечникова: Тези доповідей, 2024, с. 79-80.

2. The EcoScale. ecoscale.cheminfo.org. (n.d.). [online] Available at: https://ecoscale.cheminfo.org/man

3. Pleissner D, Kümmerer K. Green Chemistry and Its Contribution to Industrial Biotechnology. *Adv Biochem Eng Biotechnol*. 2020;173:281-298. doi: 10.1007/10_2018_73.

ТЕОРЕТИЧНИЙ ОГЛЯД МЕТОДІВ ДОСЛІДЖЕННЯ ВМІСТУ ЖИРУ В МОЛОЦІ

Горбик Анастасія Сергіївна,
здобувач вищої освіти ІІІ курсу, chem@ukr.net
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Євдоченко Олена Сергіївна
доцент, доктор філософії
lusichemis@gmail.com
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Молоко є сировиною для великої кількості харчових продуктів. Його якість безпосередньо впливає на безпечність та харчову цінність кінцевої продукції (сири, йогурти, масло). Контроль фізико-хімічних показників дозволяє своєчасно виявити та запобігти потраплянню на ринок неякісної або забрудненої сировини.

Склад молока (особливо вміст жиру та білка) визначає вихід та якість молочних продуктів. Знання та контроль цих показників дозволяє оптимізувати технологічні процеси, знизити втрати та підвищити економічну ефективність переробних підприємств.

Вміст жиру є ключовим фактором при формуванні закупівельної ціни на молочну сировину. Чим вищий відсоток жиру в молоці, тим вища його комерційна цінність для виробника молока. У багатьох системах оплата за молоко здійснюється, виходячи з його фактичного вмісту жиру (і білка), а не лише з об'єму. Жир є основним компонентом, що визначає вихід готової продукції, особливо вершкового масла, сметани та сирів. Наприклад, для виробництва масла потрібне молоко з високим вмістом жиру. Для виробництва питного молока, кефіру, йогуртів та інших продуктів зі стандартизованою жирністю (наприклад, 2,5% або 3,2%) вміст жиру в сировині має бути точно відомий для проведення нормалізації (доведення до потрібного стандарту). Природний вміст жиру в молоці є досить стабільним для конкретного стада. Різке або значне зниження жирності може бути надійною ознакою фальсифікації молока шляхом додавання води. Отже, визначення вмісту жиру в молоці – це не просто вимога стандарту, а фундаментальна необхідність для забезпечення економічної справедливості, технологічної ефективності, безпеки та харчової цінності молочної продукції.

Для визначення масової частки жиру в молоці застосовують кілька методів, які умовно поділяють на арбітражні (контрольні), рутинні (хімічні) та інструментальні (фізичні) [1,2,3]. Кожен з них має свою сферу застосування та точність.

Арбітражні методи є еталонними (референтними) і використовуються для калібрування інших приладів та вирішення спірних питань щодо якості.

Гравіметричним методом визначення вмісту жиру в молоці є метод Розе-Готліба, який базується на екстракції (вилученні) молочного жиру органічними розчинниками (наприклад, сумішшю етилового та петролейного ефірів) із попередньо підготовленого зразка молока. Обробка аміаком допомагає зруйнувати білково-лецитинові оболонки жирових кульок, звільняючи жир. Після екстракції розчинники випаровують, а чистий жир висушують до постійної маси та зважують. Метод Розе-Готліба має найвищу точність та є міжнародним стандартом (ДСТУ ISO 1211). Недоліком методу є його трудоємність, довготривалість, вимагає використання небезпечних хімічних реактивів.

Найбільш поширеним та оперативним методом контролю вмісту жиру в молоці на підприємствах є рутинний метод, він швидкий та достатньо простий. Бутирометричний метод (метод Гербера) ґрунтується на хімічному руйнуванні білкової частини молока (емульсійної оболонки жирових кульок) під дією концентрованої сульфатної кислоти. Додавання ізоамілового спирту сприяє більш чіткому розділенню жирової фази та запобігає обвуглюванню білків. Зразок молока, сульфатну кислоту та ізоаміловий спирт поміщають у

бутирометр (жиромір). Бутирометр нагрівають на водяній бані. Звільнений жир відокремлюють від решти компонентів шляхом центрифугування (протягом 5 хвилин при 1000–1200 об/хв). Жир збирається у вигляді суцільного шару в градуйованій частині бутирометра, і його об'ємний відсоток зчитується безпосередньо за шкалою. До переваг методу належить швидкість (до 20 хвилин), відносна точність, широке застосування (ДСТУ ISO 2446). Недоліками використання методу є використання агресивних хімічних речовин, залежність від точності дозування.

Найшвидшим та найбільш автоматизованим методом, що використовуються для масового аналізу є інфрачервона спектроскопія (ІЧ-аналіз). Метод базується на явищі поглинання інфрачервоного випромінювання молекулами молочного жиру (на певних специфічних довжинах хвиль). Інтенсивність поглинання прямопропорційна концентрації жиру в зразку. Часто використовується технологія ІЧ-Фур'є-спектроскопії (FTIR). Зразок молока поміщають в ІЧ-аналізатор (наприклад, MilkoScan або IndiScope), який вимірює спектр поглинання, а внутрішній комп'ютер, використовуючи попередньо встановлені калібрування, автоматично обчислює вміст жиру [5]. Перевагами методу є надвисока швидкість (секунди), відсутність хімічних реагентів, можливість одночасного визначення декількох показників (жир, білок, лактоза). Проте, недоліком методи є висока вартість обладнання, необхідність періодичного калібрування за еталонним (гравіметричним) методом.

Комплексне застосування стандартизованих методів визначення фізико-хімічних показників, особливо жиру, забезпечує сталість якості, прозорість комерційних відносин та високу ефективність молочної галузі.

Аналіз наукових праць з питання визначення якості молока, зокрема вмісту жиру, дозволяє стверджувати, що сучасні дослідження та виробнича практика базуються на міжнародних стандартах (ISO), імплементованих як ДСТУ. Це забезпечує порівнянність результатів в Україні та світі. Арбітражний метод (Розе-Готліба/ДСТУ ISO 1211) залишається еталонним методом завдяки найвищій точності (гравіметрія). Рутинний метод (Гербера/ДСТУ ISO 2446) є найбільш поширеним для оперативного контролю завдяки швидкості, хоча і має нижчу точність. Разом із тим сучасна тенденція розвитку та автоматизації підприємств веде до використання ІЧ-спектроскопії [5]. Ці методи дозволяють швидко та одночасно визначити жир, білок, лактозу та сухий знежирений молочний залишок (СОМО), що критично важливо для контролю фальсифікації та нормалізації. Якість молока не зводиться лише до жиру, наукові роботи [4] наголошують на важливості впливу генетики, годівлі та санітарних умов на весь хімічний склад, включаючи жирнокислотний профіль.

1. ДСТУ ISO 1211:2022. Молоко. Визначення вмісту жиру. Гравіметричний метод (еталонний метод) (EN ISO 1211:2010, IDT; ISO 1211:2010, IDT). Київ : ДП "УкрНДНЦ", 2023. 14 с.

2. ДСТУ ISO 2446:2019. Молоко. Визначення вмісту жиру (ISO 2446:2008, IDT). Київ : ДП "УкрНДНЦ", 2019. 14 с.

3. ДСТУ ISO 707:2002. Молоко та молочні продукти. Настанови щодо відбирання проб (ISO 707:1997, IDT). Київ : Держспоживстандарт України, 22 с.

4. Войтюк В. Г., Грицишин Л. І., Рудика Ю. В. та ін. Вплив генетичних і технологічних факторів на якість молока. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. 2021. Вип. 336. С. 138–147.

5. Гарбар О. О. Сучасні інструментальні методи контролю якості молока. Продовольча індустрія АПК. 2018. № 2. С. 45–50.

ОСОБЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ФЛУОРЕСЦЕНТНИХ БАРВНИКІВ У ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ МИЛА РУЧНОЇ РОБОТИ

Горобей Костянтин Миколайович
здобувач вищої освіти IV курсу, grkosta30@gmail.com
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Авдєєва Ольга Юріївна
доктор філософії, доцент кафедри хімії, avdeeva8909@gmail.com
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Мило ручної роботи завжди привертає увагу та захоплення, особливо коли воно має оригінальну форму чи яскраве забарвлення. Не менш ефектно виглядають і вироби, що містять флуоресцентні барвники, здатні світитися під ультрафіолетом. Однак під час їх використання виникає певна проблема – більшість флуоресцентних барвників не розчиняються у водному середовищі, що ускладнює їх рівномірне введення до складу мильної основи. Так, якщо внести барвник у мильну основу у порошкоподібному вигляді, то він не розподіляється рівномірно і в результаті на поверхні та в товщі мила з'являються помітні плями чи крапки барвника, як на рис. 1. Тому дане питання є актуальним і потребує детального вивчення та пошуку ефективних способів рівномірного введення флуоресцентних барвників у мильну основу.

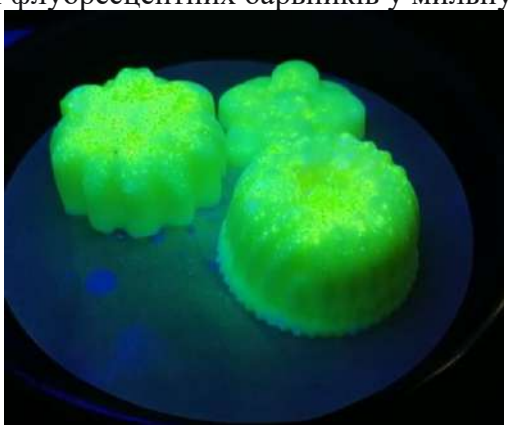


Рис. 1. Готове мило з частинками флуоресцентного барвника

Флуоресцентні барвники відрізняються від традиційних пігментів завдяки унікальному фотофізичному процесу, відомому як флуоресценція. Цей феномен полягає у поглинанні енергії, зокрема невидимого ультрафіолетового світла, флуорофорною речовиною, та негайному перевипромінюванні цієї енергії на нижчому енергетичному рівні, який потрапляє у видимий спектр. Наприклад, матеріал може поглинати УФ-випромінювання та перевипромінювати його як видимий жовтий або зелений колір. Ця конверсія енергії є ключовою для естетичної привабливості флуоресцентних барвників. Вони створюють рівні яскравості, які у 2-3 рази вищі, ніж у стандартних, нефлуоресцентних пігментів, навіть за умов денного світла.

Варто зазначити, що у рослинних оліях флуоресцентні барвники мають лише обмежену розчинність, проте самі олії практично не змішуються з мильною основою. Тому у процесі застигання мила через різницю густин краплі олії спливають на поверхню косметичного виробу. Внаслідок цього готове мило стає жирним на дотик, а на його зворотному боці (рис. 2) добре видно ділянки, де сконцентрувалася олія.

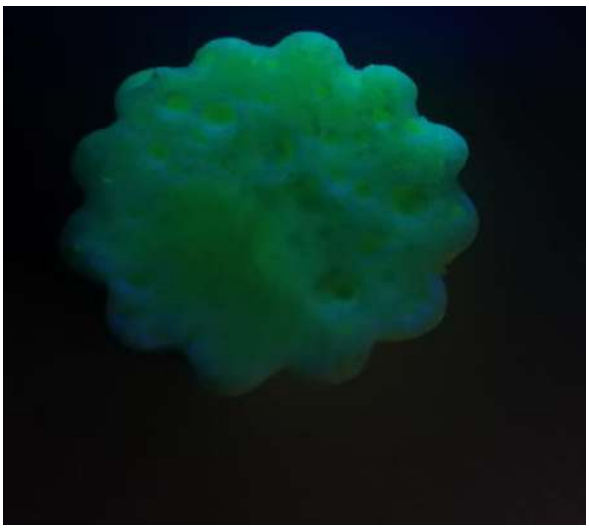


Рис. 2. Зворотній бік мила

Під час дослідження розчинності барвників, найкращі результати було отримано при використанні ефірних олій. Вони виконують подвійну функцію: забезпечують рівномірне забарвлення мила та надають йому приємного аромату.

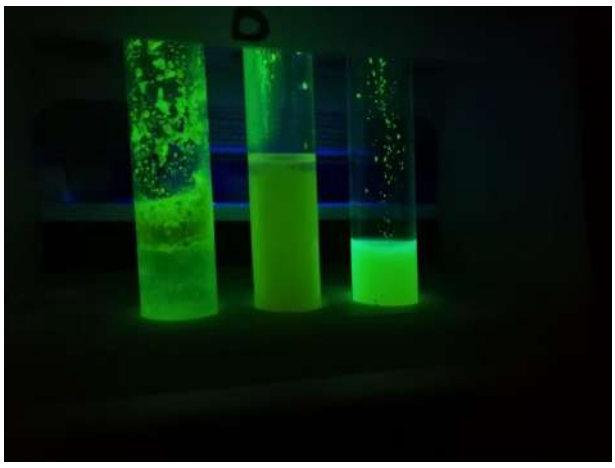


Рис. 3. Жовтий флуоресцентний барвник у воді, оливковій олії та ефірній олії відповідно

Таким чином, у процесі дослідження встановлено, що використання флуоресцентних барвників під час виготовлення мила ручної роботи має певні технологічні труднощі, зокрема пов’язані з їх низькою розчинністю у водних середовищах. Введення барвників у порошкоподібному стані призводить до нерівномірного забарвлення, а використання рослинних олій як розчинників – до утворення жирної поверхні через спливання олії під час застигання мила. Отже, для створення мила з естетичним виглядом і приємним запахом доцільно використовувати саме ефірні олії як розчинник для флуоресцентних барвників.

ОСНОВНІ ДЖЕРЕЛА ТА МАТЕРІАЛИ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА ГОРМОНАЛЬНИХ ПРЕПАРАТІВ

Горобей Костянтин Миколайович
здобувач вищої освіти IV курсу, grkosta30@gmail.com
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Свиридюк Катерина Петрівна
асистент кафедри хімії, svyrydiuk-k@zu.edu.ua
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Гормони являють собою життєво важливі хімічні речовини, які за нормальних умов виробляються у належній кількості живими організмами. Ці речовини залежно від хімічної природи здатні чинити вагомий вплив на функціонування тих чи інших органів чи систем організму, забезпечуючи тим самим злагоджене його функціонування. Зокрема, вони впливають на різні фізіологічні реакції, генеруючи клітинні сигнали через взаємодію з іонними каналами на поверхні клітин або зв'язуючись та активуючи клас білків, які називаються рецепторами, знаходитяться всередині клітини або на її поверхні. Молекула гормону, що зв'язується зі своїм рецептором, запускає каскад сигналів у клітинах, які або активують ферменти, або викликають зміни в експресії генів клітини. Така дія може суттєво впливати на біологічну функцію та фізіологічні результати, включаючи розмноження, статеву диференціацію, розвиток, ріст, підтримку внутрішнього середовища, організацію мотивованої поведінки та регуляцію метаболізму, а також постачання поживних речовин для підтримки нормального здоров'я, росту та інших функціональних аспектів організму. [1-3]

Оскільки, навіть невелика кількість гормону має серйозний вплив на функціонування організму, то різноманітні збої у роботі залоз внутрішньої секреції, або інші порушення, що спричиняють зниження вироблення чи чутливості рецепторів до гормональних речовин, можуть викликати загрозливі для функціонування організму стани, що робить актуальною потребу у застосуванні гормон замісної терапії. Так, низьку секрецію гормонів через знижену активність ендокринної залози можна лікувати за допомогою замісної терапії синтетично отриманими гормонами. Вони здебільшого призначаються у формі таблеток, наприклад, замісна терапія гормонами щитовидної залози та таблетки естрогену і прогестерону. Деякі гормони є пептидами і можуть бути пошкоджені кислотним середовищем шлунку, якщо приймати їх у формі таблеток, і в такому разі їх потрібно вводити парентерально, як у випадку з інсуліном. Крім того, ряд захворювань не пов’язаних із гормональним дисбалансом також потребують гормональної терапії. Наприклад, асептичні запальні процеси, гормон чутливі онкологічні захворювання тощо. [2]

Гормональні препарати у сучасному світі відіграють важливу роль у лікуванні різних патологій людського організму. Не менш важливим є вивчення нових та вдосконалення вже існуючих способів їх отримання, оскільки це має важливе значення для здешевлення виробництва та покращення їх ефективності.

Одним із таких джерел є рослинна сировина. Такі рослини, як солодка гола, конюшина, материнка звичайна, липа серцелиста, омела біла, дягель лікарський, розмарин лікарський, любисток лікарський, хміль звичайний, шавлія лікарська, буркун лікарський, соя щетиниста містять у своєму складі фітоестрогени – речовини, що характеризуються високою здатністю взаємодіяти з естрогеновими рецепторами. [3]

У 1920-х роках, для лікування цукрового діабету, почали застосовувати інсулін, який виділяли з підшлункових залоз свиней. Проте, на початку 1980-х років інсулін навчились отримувати з рекомбінованих бактерій. Деякі гормони росту також отримують за допомогою бактерій. Однак, через складну будову гормонів, деякі з них все ще добувають за допомогою тварин. [4]

Синтетичні методи також є важливими для отримання цієї групи препаратів. Розвиток

органічного синтезу допоміг отримувати препарати у достатній кількості та, частково, вирішити біоетичні питання, що стосуються тварин. Наприклад, у медичній практиці застосовують гестагенні ліки синтетичного походження: прегнін, ацетомепрегенол, норетестерон, оксипрогестерону капрат, алілестренол. [5]

1. Мандал А. Hormone Pharmacology. *News-Medical*. 2023. URL: https://www.news-medical.net/health/Hormone-Pharmacology.aspx (Дата звернення: 08.11.2025).

2. GEA. Hormones & steroids: Manufacturing Hormone and Steroid Drugs – Ensuring Operator Health and Safety. GEA Group "Pharma & Healthcare – Solid Dosage" [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://www.gea.com/en/pharma-healthcare/solid-dosage/hormones/ (Дата звернення: 08.11.2025).

3. Буковинський державний медичний університет. «Лікарські рослини як джерело фітоестрогенів» [Електронний ресурс]. БДМУ Чернівці, 24.03.2016. Режим доступу: https://www.bsmu.edu.ua/blog/4254-likarski-roslini-yak-dzherelo-fitoestrogeniv/ (Дата звернення: 08.11. 2025).

4. Ґудéбін Л.-М. Production of pharmaceutical proteins by transgenic animals. *Comparative Immunology, Microbiology & Infectious Diseases*. 2009. Том 32, № 2, С. 107–121. DOI: 10.1016/j.cimid.2007.11.005.

5. СТЕРОЇДНІ ГОРМОНИ. [Електронний ресурс]. Фармацевтична енциклопедія. Режим доступу: https://surl.li/agttob (Дата звернення: 08.11. 2025).

ВПЛИВ ТЕМПЕРАТУРИ ЗБЕРІГАННЯ НА В'ЯЗКІСТЬ І КОЛІР КРЕМІВ ДЛЯ ТІЛА

Гусаченко Дарина Анатоліївна
здобувач вищої освіти IV курсу, darynka2005hsr@gmail.com
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Авдєєва Ольга Юріївна
доктор філософії, доцент кафедри хімії, avdeeva8909@gmail.com
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Косметичні креми для тіла, як правило, є складними багатофазними дисперсними системами, здебільшого емульсіями типу «олія у воді». За своєю природою емульсії є термодинамічно нестабільними, і їхня структура з часом природно прагне до дестабілізації. Збереження стабільності емульсії протягом усього терміну придатності є критично важливим для забезпечення її текстури, зовнішнього вигляду, ефективності та споживчої довіри.

Стабільність косметичної формули залежить від взаємодії ключових компонентів: дисперсної (внутрішньої) фази, безперервної (зовнішньої) фази, інтерфейсних активних речовин (емульгаторів) та реологічних модифікаторів. В'язкість та колір крему є прямими індикаторами фізичної та хімічної цілісності цих компонентів.

Креми для тіла є емульсійними або мультифазними системами, що містять водну та олійну фазу, емульгатори, стабілізатори, ароматичні та барвникові компоненти, активні речовини (наприклад, гіалуронова кислота, пептиди) і консерванти. Якість цих засобів залежить не лише від складу, але й від умов зберігання, таких як температура, вологість і освітлення. Температура зберігання є одним із ключових чинників, що впливають на стабільність фізико-хімічних властивостей продукту, зокрема, в'язкість і колір крему.

Стабільність косметичних засобів є важливою для забезпечення збереження їхніх властивостей із часом, тим самим гарантуючи безпеку, ефективність та якість продукції. Випробування на стабільність відіграють вирішальну роль у цьому процесі, дозволяючи передбачити, як продукти поводяться під час зберігання, транспортування та використання. Ці дослідження допомагають виявити потенційні фізичні, хімічні або мікробіологічні зміни, які можуть поставити під загрозу цілісність продукту.

Підвищення температури зменшує в'язкість через посилення молекулярного руху, унаслідок чого крем стає більш рідким і менш стабільним. Водночас висока температура може призвести до випаровування водної фази й підвищення концентрації стабілізаторів, що тимчасово збільшує в'язкість. За низьких температур можливі кристалізація жирів чи восків, утворення грудочок або осаду, що погіршує текстуру крему [1].

Крім того, температура впливає на колір. Так, натуральні барвники та олії мають тенденцію до окиснення або полімеризації при нагріванні, що призводить до потемніння чи пожовтіння продукту. Зміни кольору можуть бути показником нестабільності або деградації активних речовин.

Для перевірки стабільності у косметичному виробництві застосовується stability testing: зразки крему зберігають при різних температурах (наприклад, +4 °C, +25 °C, +40 °C) упродовж певного часу. Досліджують колір, запах, в'язкість, pH і розшарування фаз [2]. Результати таких тестів допомагають визначити оптимальні умови зберігання, які зазвичай становлять 18-25 °C у темному місці.

Таким чином, температура зберігання має вирішальний вплив на фізичні властивості косметичних засобів. Дотримання рекомендованих умов зберігання та проведення стабільнісних досліджень допомагають забезпечити якість, безпечність і привабливість кремів для тіла протягом усього терміну придатності.

1. Assessment of the Stability of Cosmetic Products. 2023. ShapyPro. URL: https://shapypro.com/assessment-of-the-stability-of-cosmetic-products
2. Nowak, I. 2019. Stability Test of Cosmetic Creams. CHEOPS-TSAR Laboratory Manual. URL: https://www.cheops-tsar.de/chemlab/en/experiments/advanced/0007_Stability_Test_Cosmetic_Creams.pdf

ДОСЛІДЖЕННЯ СКЛАДУ ЛАМЕЛЯРНИХ ЕМУЛЬСІЙ

Драглюк Вікторія Миколаївна,
здобувач другого (магістерського) рівня вищої освіти ІІ курсу, s6374883@kntu.edu.ua
Херсонський національний технічний університет, Україна

Салєба Людмила Володимирівна,
кандидат технічних наук, доцент, lyudmilasaleba@gmail.com
Херсонський національний технічний університет, Україна

Кузнєцов Сергій Іванович, ksieko1@gmail.com
кандидат технічних наук, доцент,
Херсонський національний технічний університет, Україна

Емульсії – це дуже універсальні колоїдні системи, що використовуються в багатьох прикладних галузях, таких як харчові продукти, фармацевтика та косметика. У сучасній технології косметичних засобів все частіше використовуються ламелярні системи, які розглядають як один з найбільш перспективних класів структурованих емульсій. Їхня відмінність від традиційних макро- та мікроемульсій полягає у здатності формувати багатошарові рідкокристалічні структури, що імітують ліпідну організацію рогового шару епідермісу. Завдяки такій структурній подібності ламелярні креми демонструють підвищену біосумісність зі шкірою, пролонговану дію активних речовин, виражений бар'єрний ефект та мають оптимальні сенсорні властивості [1, 2].

До основних характеристик будови ламелярних емульсійних систем можна віднести: шарову організацію (3 – 6 нм), що відповідає довжині аліфатичних ланцюгів жирних кислот; стабільність; подібність до шкіри: структура нагадує міжклітинні ліпіди рогового шару, що складаються з церамідів, холестеролу та жирних кислот [3].

Проте стабільність таких систем значною мірою залежить від правильного підбору емульгаторів, ко-емульгаторів та технологічних параметрів процесу. Саме тому виникає потреба у проведенні систематичного експериментального дослідження, яке охоплює як розробку рецептури, так і оцінку реологічних, фізико-хімічних та стабілізаційних характеристик.

У даній роботі було використанно цетеарет-20 як основний емульгатор. Його здатність утворювати впорядковані ламелярні шари робить його перспективним для створення косметичних кремів нового покоління. У поєднанні з цетеариловим спиртом, який виконує функцію ко-емульгатора та модифікатора текстури, очікується формування міцної ламелярної сітки, здатної забезпечити тривалу стабільність емульсії. Цетеарет-20 як основний емульгатор рекомендований до використання у концентрації 2 – 5%. При цьому менше 2% призводить до нестабільності системи та неповного формування ламелярних фаз, а більше 5% може викликати надмірне емульгування, що призводить до рідкої консистенції або подразнення шкіри. Цетеариловий спирт виступає ко-емульгатором і структуроутворювачем. Концентрації у межах 1 – 5% використовуються для ущільнення ламелярних шарів та збільшення в'язкості. Менше 1% не дає потрібного ефекту стабілізації, а понад 5% може спричинити надмірну щільність та відчуття «жирної плівки».

Як основу емульсії обрано дистильовану воду концентрацією 81,5%, для створення легкої, ніжної текстури, характерної для базових ламелярних емульсій. Такий високий вміст води сприяє відчуттю свіжості та швидкому поглинанню без залишків жирності.

Каприлово-капринові тригліцериди являють собою легку олію, що виконує основну роль емоленту і олійної фази, завдяки чому добре інтегрується у ламелярні системи. У складі кремів вони застосовуються у межах 5 – 15%. Нижчі концентрації не дають достатньої зволожувальної та сенсорної дії, тоді як >15% може призвести до відчуття жирності. Ізопропілміристат виступає пом'якшувачем та поліпшує сенсорні характеристики емульсії.

Найчастіше застосовується у діапазоні 1 – 5%. Оскільки концентрація менше 1% практично не впливає на консистенцію та сенсорні відчуття, а більше 5% може викликати комедогенність у деяких типів шкіри, було обрано 3% як середнє значення для досягнення оптимального ковзання та легкої текстури. Гліцерин являє собою гігроскопічний зволожувач, що утримує вологу. У косметиці застосовується в концентраціях 2 – 5%. Менше 2% практично не проявляє вираженого зволожувального ефекту, а понад 5% може викликати липкість. Тому оптимально обрано 3%, щоб забезпечити помірне й приємне зволоження без небажаних сенсорних ефектів. Натрій хлорид входить до складу рецептури як регулятор іонної сили та стабілізатор ламелярної структури. Зазвичай використовується при низьких концентраціях: 0,2 – 1,0%.

Таким чином, ламелярні структури є особливим типом організації емульсійних систем, що забезпечує унікальні фізико-хімічні та біоміметичні властивості косметичних кремів. Це робить їх ключовим напрямом розвитку сучасних косметичних технологій.

1. Moraes C., Anjos J. L. V., Maruno M., Alonso A., Rocha-Filho P. Development of lamellar gel phase emulsion containing baru oil (Dipteryx alata Vog.) as a prospective delivery system for cutaneous application. *Asian Journal of Pharmaceutical Sci*. 2018. V.13, Is.2, P. 183-190. https://doi.org/10.1016/j.ajps.2017.09.003

2. Dallay Ch., Malhiac C., Duchemin B., Savary G., Picard C. Effect of linalool on lamellar-structured emulsions: From molecular organization to organoleptic properties. *Food Hydrocolloids*. 2024. V. 149, 109575, https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2023.109575

3. McClements D. J. Advances in fabrication of emulsions with enhanced functionality using structural design principles. *Curr Opin Colloid Interface Sci*. 2012. V.17, Is. 5, P. 235-245. https://doi.org/10.1016/j.cocis.2012.06.002

ВПЛИВ ПЕСТИЦИДІВ НА РОДЮЧІСТЬ ҐРУНТІВ ТА МІКРОБІОЛОГІЧНУ АКТИВНІСТЬ

Дризик Віталій Юрійович
здобувач вищої освіти IV курсу, vitalik.druzuk.2005@gmail.com
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Авдєєв Сергій Володимирович
старший викладач кафедри хімії, avdeevssv@gmail.com
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Родючість ґрунту залежить не лише від його фізико-хімічної структури, але й значною мірою від біологічної активності, зокрема різноманітності та функцій ґрунтової мікрофлори. Мікроорганізми відповідають за ключові екосистемні послуги, такі як кругообіг поживних речовин, розкладання органічної речовини та формування ґрунтової структури.

Застосування пестицидів (хімічних або біологічних речовин, призначених для контролю шкідників) стало невід'ємною частиною сучасного сільського господарства. Однак, існує значне занепокоєння щодо їхнього ненавмисного несприятливого впливу на нецільову ґрунтову мікрофлору і фауну. Присутність пестицидів у ґрунті може призводити до змін мікробної активності (ферментативної активності, популяцій) та фізичних і хімічних властивостей ґрунту.

Дослідження показують, що чим вища різноманітність пестицидів, тим сильніше це діє як екологічний стресор, спричиняючи значні негативні зміни в мікробних функціях і порушуючи кругообіг поживних речовин у сільськогосподарських ґрунтах [2].

Основними наслідками впливу пестицидів є:

- *фізико-хімічні зміни ґрунту* (зниження вмісту гумусу та органічних речовин при тривалому застосуванні деяких гербіцидів; порушення структури ґрунту та водно-повітряного режиму; зміни pH, солонцюватості та концентрації поживних елементів);
- *мікробіологічна активність* (зменшення чисельності та різноманіття ґрунтових бактерій, грибів та актиноміцетів; порушення процесів азотфіксації та розкладання органічної речовини; дисбаланс мікробних груп, що підтримують кругообіг елементів живлення);
- *наслідки для родючості* (зниження природної біологічної родючості ґрунту; утворення токсичних сполук, що пригнічують ріст рослин; необхідність додаткового внесення добрив для підтримки врожайності).

З метою пом'якшення негативних наслідків пестицидного стресу та підвищення стійкості агроекосистем варто застосовувати мікробні інокулянти (наприклад, штами *Bacillus* та *Pseudomonas*), які можуть слугувати для очищення забруднених ґрунтів, розкладаючи такі стійкі пестициди, як хлорорганічні сполуки (наприклад, ДДТ). Таким чином, бактерії, що сприяють росту рослин можуть покращувати толерантність рослин до стресу, оптимізувати доступність поживних речовин (наприклад, мобілізацію фосфору та калію) та індукувати системну стійкість. Для пом'якшення травматичного впливу гербіцидів на культури без зниження їхньої ефективності можуть використовуватися такі біостимулятори як сейфенери. Встановлено, що негативні наслідки підвищення різноманітності пестицидів на ґрунтові мікробні функції можуть бути пом'якшені внесенням азотних добрив. Це підтримує розробку ефективних стратегій управління азотом для сприяння сталому розвитку сільського господарства. Крім того, застосування сидеральних культур (Cover Crops) сприяє поліпшенню якості та структури ґрунту, збільшує вміст органічної речовини та переробляє поживні речовини. Кореневі виділення сидератів живлять ґрунтові гриби та бактерії, допомагаючи зв'язувати частинки ґрунту, а зменшення обробітку ґрунту (Reduce Tillage) та внесення органічних матеріалів, таких як мульча та компост, забезпечують «повільне вивільнення» поживних речовин для мікробів, сприяючи формуванню ґрунтової структури.

Таким чином, незважаючи на необхідність пестицидів для стабілізації врожайності, їхній вплив на мікробіологічну активність ґрунту є багатовекторним та переважно негативним, що загрожує довгостроковій родючості. Сучасні стратегії сталого агровиробництва вимагають комплексного підходу, що включає точне управління живленням, мінімізацію кількості та різноманітності хімічних засобів та активне використання біологічних препаратів для відновлення мікробної резильєнтності ґрунту.

1. Гриценко С. І., Козлов, В. В. Агрофармакологія: навчальний посібник. Харків: ХНАУ, 2019. 248 с.

2. Кудрявцев І. А. Фармакологічні аспекти застосування агрохімікатів у рослинництві. Львів: Сполом, 2022. 204 с.

ВИКОРИСТАННЯ ПРИРОДНИХ АНТИОКСИДАНТІВ У КОСМЕТИЧНІЙ ПРОДУКЦІЇ

Зимнік Діна Вікторівна
здобувач вищої освіти IV курсу, zymnikdina@gmail.com
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Авдєєва Ольга Юріївна
доктор філософії, доцент кафедри хімії, avdeeva8909@gmail.com
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Антиоксиданти – це сполуки або системи, які можуть взаємодіяти з вільними радикалами та зупиняти ланцюгову реакцію до того, як життєво важливі молекули будуть пошкоджені [3]. Антиоксиданти використовуються в харчовій, косметичній, фармацевтичній та навіть аграрній промисловості. Вони можуть використовуватися як харчові добавки та активні інгредієнти, а також як стабілізатори. Антиоксиданти можуть бути як синтетичними, так і натуральними, обидва використовуються в косметичних засобах. Синтетичні антиоксиданти (наприклад, бутильований гідроксианізол (BHA), бутильований гідрокситолуол (BHT) та пропілгалат) широко використовуються, оскільки їх виробництво недороговартісне. Однак дослідження показують, що надмірне споживання синтетичних антиоксидантів може становити шкоду для здоров'я. Незважаючи на те, що синтетичні антиоксиданти домінують на ринку, попит на натуральні антиоксиданти зріс в останні роки і, як очікується, продовжуватиметься. Цю тенденцію можна пояснити зростаючою перевагою споживачів до органічних та натуральних продуктів, які містять менше добавок і можуть мати менше побічних ефектів, ніж синтетичні інгредієнти.

Природні антиоксиданти, що використовуються в косметичній промисловості, включають різні речовини та екстракти, отримані з широкого спектру рослин, зернових і фруктів. Вони здатні знижувати оксидативний стрес на шкірі або захищати продукти від оксидативної деградації. Однією з основних причин оксидативного стресу, який прискорює старіння шкіри, є активні форми кисню (АФК) [6]. Внутрішнє старіння пов'язане з природним процесом старіння, тоді як зовнішнє – пов'язане із зовнішніми факторами, які впливають на процес старіння (наприклад, забруднення повітря, ультрафіолетове випромінювання та патогенні мікроорганізми). Фотостаріння, найімовірніше, є основною причиною вироблення АФК. Було виявлено кілька потенційних шкірних мішеней, які взаємодіють з АФК (наприклад, ліпіди, ДНК та білки). Молекули антиоксидантів можуть бути ферментами або низькомолекулярними антиоксидантами, які віддають електрон реакційноздатним частинкам, запобігаючи радикальній ланцюговій реакції, що запобігає утворенню реакційноздатних оксидантів, або поводяться як хелатори металів, інгібітори окислювальних ферментів або кофактори ферментів [2].

Антиоксиданти можуть використовуватися і як стабілізатори, запобігаючи окисненню ліпідів. Окиснення ліпідів відбувається не тільки в косметиці, але й в організмі людини. Таким чином, коли антиоксиданти присутні в косметичному засобі, вони можуть виконувати кілька функцій. Кількість радикалів збільшується під час ініціаційної фази окиснення ліпідів. Молекулярний кисень і радикали жирних кислот реагують під час фази поширення, що призводить до утворення гідропероксидних продуктів. Гідропероксиди нестабільні та можуть розкладатися з утворенням радикалів, які можуть прискорити реакцію поширення. У фазі завершення переважають радикальні реакції. Антиоксиданти можуть пригнічувати окиснення ліпідів, реагуючи з ліпідними та пероксирадикалами, перетворюючи їх на більш стабільні, нерадикальні продукти. Крім того, антиоксиданти можуть виснажувати молекулярний кисень, інактивувати синглетний кисень, перетворювати водень на інші антиоксиданти та розсіювати ультрафіолетове світло. Антиоксиданти можуть бути використані в лікуванні раку, оскільки

вироблення активних форм кисню змінюється під час онкогенезу, що має протизапальну та антимікробну дію.

Рослини добре відомі тим, що виробляють природні антиоксидантні сполуки, які можуть зменшити кількість оксидативного стресу, спричиненого сонячним світлом та киснем. Рослинні екстракти використовуються в різноманітних патентах та комерційних косметичних продуктах. Зелений чай, розмарин, виноградні кісточки, базилік, чорниця, помідори, насіння ацероли, кора сосни та розторопша – це деякі з рослинних екстрактів, які зазвичай зустрічаються в косметичних рецептурах. Поліфеноли, флавоноїди, флаваноли, стильбени та терпени – це природні антиоксиданти, що містяться в рослинних екстрактах (включаючи каротиноїди та ефірні олії) [1].

Антиоксиданти класифікуються як первинні (природні) антиоксиданти та як вторинні (синтетичні) антиоксиданти відповідно до їхньої функції. Мінеральні антиоксиданти (Селен, Купрум, Залізо, Цинк та Марганець), вітаміни (С та Е) та фітоантиоксиданти є прикладами первинних антиоксидантів. Як правило, мінеральний антиоксидант є кофактором ферментативних антиоксидантів. Вторинні або синтетичні антиоксиданти захоплюють вільні радикали та зупиняють ланцюгову реакцію. BHA, BHT, пропілгалат, хелатуючі агенти металів, третинний бутилгідрохінон є прикладами вторинних антиоксидантів [4].

Використання рослинних антиоксидантів зростає і може, зрештою, замінити використання синтетичних антиоксидантів. Природний антиоксидант може бути окремою чистою сполукою/ізолятом, комбінацією сполук або рослинними екстрактами. Ці антиоксиданти широко використовуються в косметичних засобах. Вроджені антиоксиданти діють як поглиначі вільних радикалів кисню (синглетні та триплетні), активні форми кисню, розкладачі пероксиду та інгібітори ферментів. Поліфеноли та терпени є найпоширенішими фітоантиоксидантами; ця відмінність ґрунтується на їх молекулярній масі, полярності та розчинності. Поліфеноли мають бензольні кільця з приєднаними -ОН групами. Кількість та положення -ОН груп на бензольному кільці визначають їхню антиоксидантну активність. Фенольні групи впливають на фосфорилювання білків, пригнічуючи перекисне окислення ліпідів. Найпоширенішими поліфенолами є флавоноїди та стильбени, а найпоширенішими терпенами – каротиноїди [5].

Отже, природні антиоксиданти відіграють надзвичайно важливу роль у сучасній косметології. Вони ефективно захищають шкіру від шкідливої дії вільних радикалів, уповільнюють процеси старіння, сприяють регенерації клітин і збереженню природного балансу шкіри. Завдяки своїй безпечності та багатофункціональності, антиоксиданти природного походження стали невід'ємними компонентами більшості сучасних косметичних засобів.

1. Aune D. Plant Foods, Antioxidant Biomarkers, and the Risk of Cardiovascular Disease, Cancer, and Mortality: A Review of the Evidence. *Adv. Nutr*. 2019, 10, S. 404–S421.

2. Bose B., Choudhury H., Tandon P., Kumaria S. Studies on secondary metabolite profiling, anti-inflammatory potential, in vitro photoprotective and skin-aging related enzyme inhibitory activities of Malaxis acuminata, a threatened orchid of nutraceutical importance. *J. Photochem. Photobiol. B Biol.* 2017, 173, S. 686–695.

3. De Lima Cherubim D. J., Buzanello Martins C. V., Oliveira Fariña L., da Silva de Lucca R. A. Polyphenols as natural antioxidants in cosmetics applications. *J. Cosmet. Dermatol*. 2020, 19, S. 33–37.

4. Neha K., Haider R., Pathak A., Yar M. S. Medicinal prospects of antioxidants: A review. *Eur. J. Med. Chem*. 2019, 178, P. 687–704.

5. Pandey K. B., Rizvi S. I. Plant Polyphenols as Dietary Antioxidants in Human Health and Disease. *Oxid. Med. Cell. Longev*. 2009, 2, P. 270–278.

6. Zhang S., Duan E. Fighting against skin aging: The way from bench to bedside. *Cell Transplant*. 2018, 27, P. 729–738.

НЕГАТИВНИЙ ВПЛИВ ГІГРОСКОПІЧНОСТІ ТВЕРДИХ ЛІКАРСЬКИХ ФОРМ ФАРМАЦЕВТИЧНИХ ПРЕПАРАТІВ ТА НУТРИЦЕВТИКІВ

Зимнік Діна Вікторівна
здобувач вищої освіти IV курсу, zymnikdina@gmail.com
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Свиридюк Катерина Петрівна
асистент кафедри хімії, svyrydiuk-k@zu.edu.ua
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Багато активних фармацевтичних інгредієнтів та нутрицевтиків (наприклад, лікарські трави, пребіотики, харчові волокна) мають високу гігроскопічність у твердому стані. Висока гігроскопічність спричиняє безліч проблем, таких як зміни їхніх фізико-хімічних властивостей, що, у свою чергу, спричиняє труднощі в подальших процесах виробництва, нестабільність протягом терміну придатності та, зрештою, негативний вплив на їх біодоступність. Гігроскопічність, зазвичай відому як «вологочутливість», можна визначити як схильність твердої речовини до поглинання або адсорбції та утримання води з навколишнього середовища [6]. Високогігроскопічні тверді речовини мають полярні функціональні групи або водопритягувальні місця зв'язування, що робить їх відносно гідрофільними або здатними проявляти «вологолюбні» властивості. Зважаючи на гідрофільні властивості, такі речовини здатні активно поглинати воду або вологу.

Поглинання вологи зазвичай визначається п'ятьма факторами: (1) різницею між парціальним тиском пари води в навколишньому середовищі та рівноважною концентрацією вологи у твердій речовині; (2) температурою навколишнього середовища; (3) площею відкритої поверхні твердої речовини; (4) швидкістю вологого повітря; та (5) реакційною здатністю твердої речовини взаємодіяти з водою, що є характеристикою самої твердої речовини [2]. Усі ці фактори пояснюють схильність твердих речовин до поглинання вологи.

Негативний вплив вологи на тверді лікарські форми фармацевтичних препаратів є триєдиним. По-перше, вода може спричинити деградацію препарату через небажані хімічні реакції, такі як гідроліз, що утворює домішки та зменшує кількість активних речовин у препараті. Деякі кристалічні біоактивні речовини, незалежно від того, чи є вони активними фармацевтичними інгредієнтами чи нутрицевтиками, можуть перетворюватися на гідрати, коли вода інтегрується в їхню кристалічну решітку у стехіометричних або нестехіометричних співвідношеннях через водневі та/або ковалентні зв'язки з безводними активними речовинами, змінюючи їхні фізико-хімічні властивості та впливаючи на їх розчинність, стабільність та біодоступність [3]. Наприклад, Оцука та ін. [4] провели дослідження, вивчаючи фізико-хімічну стабільність ангідрату та моногідрату нітрофурантоїну, і дійшли висновку, що кристалографічні фазові зміни в препараті можуть відбуватися під час зберігання при низькій або високій відносній вологості, і що ці зміни є одним з основних факторів, що впливають на біодоступність препарату.

По-друге, волога може спричиняти фазові переходи, знижуючи температури склування та діючи як пластифікатор в аморфних твердих речовинах. Вона може викликати перекристалізацію цільових аморфних форм, які були утворені для їхньої підвищеної розчинності, назад у стабільні кристалічні форми зі зниженою розчинністю та біодоступністю. Окрім пластифікації аморфних біоактивних речовин, вона також може спричиняти розплавлення кристалічних біоактивних речовин, що полягає у розрідженні та розчиненні водорозчинних твердих речовин у поглиненій воді.

По-третє, поглинання вологи призводить до змочування твердих речовин, що впливає не лише на їхню стабільність, але й на властивості текучості, щільності, точності дозування та твердості порошків, що створює значні проблеми з подальшим формуванням та обробкою.

Деякі проблеми подальшого формування, з якими можуть зіткнутися гігроскопічні або чутливі до вологи тверді речовини, пов'язані з такими етапами обробки, як подрібнення порошку, компаундування таблеток та створення порошку, де гігроскопічні тверді речовини можуть прилипати до подрібнювальної машини та конвеєра, що призводить до незадовільного зменшення розміру та уповільнення потоку. Під час пресування таблеток гігроскопічні тверді речовини можуть прилипати до пуансонів та спричиняти злежування та грудкування. У випадку процесів пакування, таких як наповнення сухим порошком, гігроскопічні тверді речовини можуть прилипати до бункера або конвеєра та перешкоджати процесу. На цих етапах формування можуть бути вжиті такі заходи, як контроль відносної вологості та використання адсорбентів, мастил та ковзних речовин, щоб забезпечити більш плавний хід процесів. Зрештою, кінцева лікарська форма, ймовірно, буде упакована у відповідну упаковку для захисту від впливу зовнішнього середовища, такого як можлива хімічна та фізична деградація внаслідок впливу світла, вологості, повітря, домішок та механічних пошкоджень. У випадку гігроскопічних лікарських форм, упаковка має вирішальне значення для захисту від вологи в повітрі, від моменту виробництва до використання [1]. При упаковці гігроскопічних лікарських форм необхідно враховувати два основні моменти: (1) це має проводитися в умовах контрольованої вологості, щоб мінімізувати кількість водяної пари, що займає верхній простір упаковки, та (2) необхідно ретельно розглянути вибір пакувального матеріалу, щоб не тільки забезпечити його інертність, але й забезпечити достатній захист від вологи на основі його швидкості проникнення водяної пари. Деякі поширені пакувальні матеріали - це полівінілхлорид (ПВХ), Aclar (поліхлортрифторетилен) та фольга [5]. Всебічний огляд вибору упаковки для захисту від вологи та стабільності твердих пероральних лікарських засобів був написаний Вотерманом та Макдональдом [7].

1. Arigo A., Jawahar N., Nikhitha K., Jubie S. Effect of Hygroscopicity on pharmaceutical ingredients, methods to determine and overcome: An Overview. *J. Pharm. Sci. Res*. 2019, 11, P. 6–10.

2. Edgar G., Swan W. O. The factors determining the hygroscopic properties of soluble substances. I. The vapor pressures of saturated solutions. *J. Am. Chem. Soc*. 1922, 44, P. 570–577.

3. Khankaria R. K., Grant D. J. W. Pharmaceutical hydrates. *Thermochim. Acta* 1995, 248, P. 61–79.

4. Otsuka M., Teraoka R., Matsuda Y. Physicochemical Stability of Nitrofurantoin Anhydrate and Monohydrate Under Various Temperature and Humidity Conditions. *Pharm. Res*. 1991, 8, P. 1066–1068.

5. Roy S., Siddique S., Majumder S., Mohammed Abdul M. I., Ur Rahman S.A., Lateef D., Dan S., Bose A. A systemic approach on understanding the role of moisture in pharmaceutical product degradation and its prevention: Challenges and perspectives. *Biomed. Res*. 2018, 29, P. 3336–3343.

6. Thakur T. S., Thakuria R. Crystalline Multicomponent Solids: An Alternative for Addressing the Hygroscopicity Issue in Pharmaceutical Materials. *Cryst. Growth Des*. 2020, 20, P. 6245–6265.

7. Waterman K. C., MacDonald B. C. Package selection for moisture protection for solid, oral drug products. *J. Pharm. Sci*. 2010, 99, P. 4437–4452.

АЛЬГІНАТНІ ПЛІВКИ МЕДИЧНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

Карпішенко Дар'я Володимирівна,
здобувач вищої освіти 4 року навчання, d.karpishenko@ukma.edu.ua
Національний університет "Києво-Могилянська академія", Україна

Сікач Аліна Вячеславівна,
аспірант, a.sikatch@ukma.edu.ua
Національний університет "Києво-Могилянська академія", Україна

Побігай Ганна Андріївна,
кандидат технічних наук, доцент, pobigay@ukma.edu.ua
Національний університет "Києво-Могилянська академія", Україна

Гідрогелеві плівки медичного призначення є ефективною альтернативою традиційним перев'язувальним матеріалам, мазям та гелям, адже це окремий клас багатофункціональних матеріалів із вираженими фізико-хімічними й біомедичними характеристиками, що забезпечують умови для фізіологічно сприятливого загоєння пошкоджених тканин. Їх структурна організація передбачає наявність тривимірної полімерної матриці з високим вмістом вологи, що імітує природне міжклітинне середовище та підтримує гомеостатичні умови на поверхні рани. Плівки такого типу формуються зазвичай на основі природних або синтетичних біосумісних полімерів [1,2].

Особливу увагу привертають композиції на основі натрій альгінату (НА) як природного біополімеру з вираженими сорбційними та гелеутворювальними властивостями. Його комбінація з кальцій карбонатом, що виступає йоногенним агентом, забезпечує структурну стабільність плівок, формування тривимірної матриці та регулювання механічних параметрів. Додаткове введення активних фармацевтичних речовин розширює функціональність плівки, надаючи їй антисептичних та протизапальних властивостей. Застосування кислот - зокрема оцтової та лимонної - дозволяє модифікувати внутрішню структуру матриці, регулюючи її пористість і швидкість вивільнення субстанцій [3].

В роботі отримано гідрогелеві плівок медичного призначення з використанням полімерної матриці на основі НА, кальцій карбонату як джерела двовалентних йонів кальцію, оцтової й лимонної кислот та активної речовини етонію.

Етоній є четвертинною амонієвою сполукою (рис.1) з вираженою антибактеріальною активністю, що належить до групи поверхнево-активних катіонних антисептиків та активний проти грампозитивних бактерій, зокрема Staphylococcus aureus, Streptococcus pyogenes, а також у деякій мірі проти грамнегативних штамів, таких як Pseudomonas aeruginosa, що робить його доцільним у ранових покриттях [4]. Також етоній чинить локальний анестезуючий ефект, тому може додаватись до плівок для зниження болісності при поверхневих ураженнях.

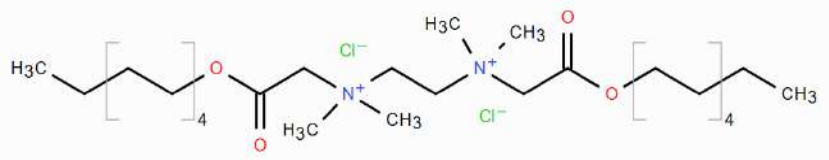


Рис.1 Структурна формула етонію

Плівки готували з 2 та 4% (мас.) водних розчинів НА, в які додавали мікродисперсні частинки кальцій карбонату, для рівномірного розподілу яких в отриманій суспензії використовували ультразвук. Для формувального розчину з антибактеріальною речовиною до 100 мл основного розчину додавали 10 мл 10% водного розчину етонію.

Отримані формувальні розчини об'ємом 10 мл заливали в чашки Петрі діаметром 7 см.

Висушування проводили в термостаті при температурі 45°С протягом 24 год з наступним охолодженням в ексикаторі до кімнатної температури.

Для активації гелеутворення (рис.2) охолоджені висушені плівки поміщали в 3% (мас.) водний розчин оцтової кислоти або в 1% (мас.) водний розчин лимонної кислоти на 10, 20, 30 т 60хв. Після чого промивали дистильованою водою та висушували в термостаті.

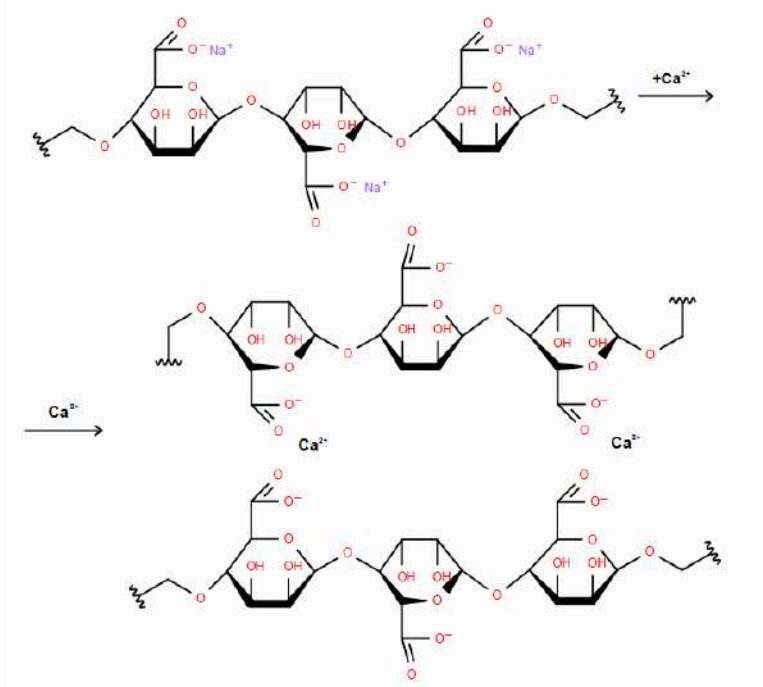


Рис.2. Схема зшивання альгінату натрію йонами кальцію

Набрякання плівок досліджували ваговим методом та встановили, що збільшення тривалості зшивання альгінатних плівок від 20 до 60 хвилин призводить до падіння ступеня набрякання майже вдвічі при формуванні з 4% розчинів при активуванні зшивання оцтовою кислотою. Окрім того, гідрогелі, сформовані з 4% розчину НА мають ступінь набрякання в 1,7 рази вищий порівняно з гідрогелями, сформованими з 2% розчину. Дослідження набрякання гідрогелів сформованих з 4% розчину НА та зшитих лимонною кислотою протягом різного часу, так само підтверджують цей ефект. Так, збільшення тривалості зшивання альгінатних плівок лимонною кислотою від 10 до 60 хв призводить до падіння ступеня набрякання з 250 до 180%.

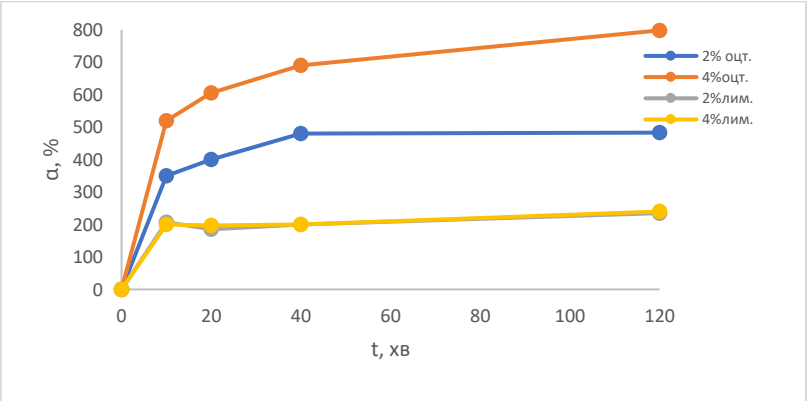


Рис.3. Дослідження ступеня набрякання 2% та 4% альгінатних плівок в дистильованій воді, зшивання яких проводилось 20хв в оцтовій і лимонній кислотах.

Окрім того, гідрогелі, зшивання яких активоване лимонною кислотою, характеризуються нижчими ступенями набрякання порівняно з плівками, зшитими оцтовою кислотою (рис.3). Це можна пояснити тим, що лимонна кислота є сильнішою, тому швидше

переводить карбонат кальцію у розчинну форму. Такий ефект пришвидшує утворення більш щільної стуктури гідрогелю.

Дослідження кінетики вивільнення етонію в дистильованій воді з гідрогелевих плівок показали, що вже при знаходженні плівок у дистильованій воді протягом перших 10 хвилин вивільняється 65-70% активної речовини. За годину майже весь етоній переходить з альгінатної матриці у розчин.

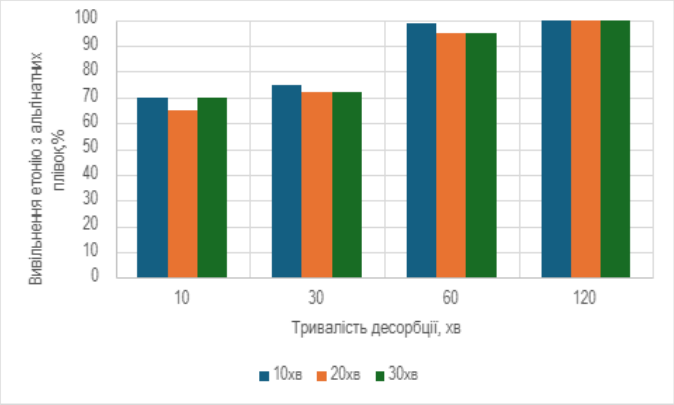


Рис.4 Діаграма десорбції етонію з альгінатних плівок

Тому отримані альгінатні плівки з етонієм можна рекомендувати для медичного використання як плівки «швидкої дії» з швидким вивільненням активної антибактеріальної та знеболювальної речовини етонію протягом першої години. В подальшому плівка буде виступати як «дихаючий» бар'єр, який буде перешкоджати пошкодженню й вторинному бактеріальному забрудненню рани а також сорбувати з неї ексудат.

1. Hossein Chamkouri, Mahyodin Chamkouri. A Review of Hydrogels, Their Properties and Applications in Medicine. *American J Biomed Sci & Res.* 2021. 11(6). P.485-493.

2. Lingling Zhao, Yifan Zhou, Jiaying Zhang, Hongze Liang, Xianwu Chen and Hui Tan. Natural Polymer-Based Hydrogels: From Polymer to Biomedical Applications. *Pharmaceutics*. 2023. 15(10). 2514.

3. Sharma R., Malviya R., Singh S., Prajapati B. A Critical Review on Classified Excipient Sodium-Alginate-Based Hydrogels: Modification, Characterization, and Application in Soft Tissue Engineering. *Gels*. 2023. *9*(5). 430.

4. Petrunyk O. Increased antibacterial activity of antibiotics with etonium in vitro. *Mikrobiol Z.* 2000. 62(4). P.43-46.

СИНТЕЗ АНТОЦІАНІВ МЕТОДОМ ЕКСТРАКЦІЇ: ТЕОРЕТИЧНІ АСПЕКТИ

Колос Євгеній Миколайович
здобувач вищої освіти ІІІ курсу, chem@ukr.net
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Євдоченко Олена Сергіївна
доктор філософії, доцент, lusichemsis@gmail.com
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Світова тенденція до здорового харчування та відмови від синтетичних добавок (особливо азобарвників) стимулює попит на натуральні харчові барвники. Багато синтетичних барвників мають потенційний негативний вплив на здоров'я (алергії, гіперактивність у дітей) та викликають недовіру споживачів.

Сучасні технології переробки природньої сировини дозволяють використовувати відходи харчової та сільськогосподарської промисловості (макуха, шкірка, вичавки) як джерело барвників, що забезпечує безвідходне виробництво та значно зменшує собівартість.

До основних класів природних барвників відносять: антоціани (джерело червоного, фіолетового, синього кольорів) – містяться в буряку, винограді, чорниці, фіолетовій моркві; каротиноїди (джерело жовтого, помаранчевого, червоного кольорів) – містяться в моркві, гарбузах, томатах, плодах обліпихи; хлорофіли (джерело зеленого кольору) – містяться в шпинаті, кропиві, люцерні; куркумін (куркума) – джерело жовтого кольору.

Ефективне перетворення сировини на кінцевий барвник залежить від оптимізації процесу вилучення. Вибір методу залежить від типу барвника та сировини. До основних методів синтезу барвників із природньої сировини належать класична рідинна екстракція, яка передбачає використання безпечних розчинників (вода, етанол) та сучасні технології застосування ультразвукової (УЗ) або надкритичної флюїдної (НКФ) екстракції, які забезпечують підвищення виходу та чистоти продукту, зменшення тривалості процесу та енерговитрат [2].

Варто зауважити, що натуральні барвники часто нестійкі до світла, кисню та високих температур (особливо антоціани). Тому їх видобування передбачає застосування методів мікрокапсулювання (наприклад, мальтодекстрином) або додавання природних стабілізаторів (антиоксидантів) для підвищення біологічної цінності та збереження кольору при зберіганні та термообробці [4].

Антоціани (червоні, фіолетові, сині пігменти) вимагають особливих умов екстракції, оскільки вони стабільні лише у кислому середовищі. Найпоширенішим базовим методом вилучення антоціанів є класична рідинна екстракція (Conventional Liquid Extraction). Це найдешевший метод, проте він часто потребує більше часу та може бути менш селективним. Принципом методу є використання розчинника, який проникає в рослинний матеріал і розчиняє антоціани. Оптимальним екстрагентом виступають водно-спиртові суміші (етанол + вода), адже етанол є безпечним для харчових продуктів і добре розчиняє антоціани. Для стабілізації антоціанів і збільшення їхнього виходу додають кислоту (найчастіше лимонну, оцтову або хлоридну), щоб Екстракцію проводять за середньої температури (40–70 °C). Висока температура прискорює процес, але може спричинити термічну деградацію антоціанів, знижуючи якість і колір.

Сучасні інтенсифіковані методи спрямовані на скорочення часу, зменшення витрати розчинника та підвищення виходу цільового продукту. Ультразвукова екстракція передбачає використання ультразвукових хвиль для створення кавітації (утворення та руйнування мікропухирців) у розчиннику. Кавітація руйнує клітинні стінки сировини, покращуючи масообмін і прискорюючи вивільнення антоціанів у розчинник. Кавітація значно скорочує час

екстракції (з годин до хвилин) та дозволяє працювати при нижчих температурах, що запобігає деградації термочутливих антоціанів.

Екстракція під тиском, так звана прискорена екстракція розчинником проводиться при високому тиску (100–150 бар) і підвищеній температурі (50-200°C), але нижче точки кипіння розчинника. Високий тиск дозволяє використовувати рідинні розчинники при температурі вище їхньої нормальної точки кипіння, що підвищує їхню розчинювальну здатність і швидкість дифузії [1].

Надкритична флюїдна екстракція передбачає використання рідини в надкритичному стані (найчастіше CO_2 із додаванням модифікатора – ко-розчинника). Надкритичний CO_2 має властивості як рідини (розчинювальна здатність), так і газу (висока дифузія), що забезпечує високу селективність і швидкість. Чистий CO_2 погано розчиняє полярні антоціани, тому необхідно додавати полярний модифікатор, наприклад, підкислений етанол. Це екологічно чистий метод (легко видаляється CO_2), дозволяє отримати дуже чистий екстракт без залишків органічних розчинників [3].

Аналіз методів екстракції підтверджує, що вибір технології має вирішальне значення для успішного синтезу антоціанових барвників із природної сировини. Класична рідинна екстракція є доступною, але часто вимагає тривалого часу та може призводити до значних втрат термочутливих сполук при підвищених температурах.

Натомість, інтенсифіковані методи (зокрема, ультразвукова екстракція та надкритична флюїдна екстракція) демонструють значні переваги. Вони дозволяють скоротити час обробки та зменшити витрату розчинників, водночас підвищуючи загальний вихід і чистоту кінцевого продукту. Використання кислого середовища (pH 1,0–3,0) є обов'язковою умовою для стабілізації антоціанів у процесі вилучення, незалежно від обраної технології.

1. Smith J. D., Brown A. R. Supercritical Fluid Extraction of Anthocyanins from Blackcurrant Pomace and Encapsulation for Stability. *Journal of Food Science and Technology*. 2023. Vol. 60, Iss. 8. P. 4500–4510.

2. Іваненко О. М., Петренко С. В. Оптимізація процесу ультразвукової екстракції антоціанів з вичавок чорноплідної горобини. *Прогресивні харчові технології*. 2023. Т. 11, № 2. С. 45–56.

3. Ковальчук В. О., Бойко Л. П. Дослідження фізико-хімічних властивостей натуральних барвників для кондитерських виробів. *Наукові записки Хмельницького національного університету. Технічні науки*. 2024. № 1. С. 112–119.

4. Мельник Т. А., Савчук І. Р. Натуральні харчові барвники: технологія отримання та застосування. Київ : Вища освіта, 2022. 350 с.

ВИЗНАЧЕННЯ ВМІСТУ ЧЕРВОНИХ БАРВНИКІВ У ГАЗОВАНИХ НАПОЯХ

Левковська Альона Олександрівна
здобувач вищої освіти ІІ курсу другого (магістерського) рівня вищої освіти,
alenalevkovska@gmail.com
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Євдоченко Олена Сергіївна
доцент, доктор філософії
lusichemis@gmail.com
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Камінський Олександр Миколайович
доцент, кандидат хімічних наук
alexkamin@ukr.net
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Барвники відіграють важливу роль у харчовій промисловості, надаючи продуктам привабливого вигляду та підсилюючи їх візуальні характеристики. Червоні барвники, як натурального, так і синтетичного походження, відіграють важливу роль у формуванні споживчого сприйняття продукції, оскільки яскравий колір часто асоціюється з якістю та свіжістю. Водночас, зростаюча обізнаність споживачів щодо безпеки харчових добавок підвищує вимоги до контролю їх вмісту в продуктах.

До натуральних барвників, які надають харчовій продукції червоного забарвлення належать: екстракт буряка (Е162) – основним активним компонентом є бетаїн і бета-цианін; кармін (Е120) – отримується з кармінових кислот, які є глікоалкалоїдами, що містяться в кошенільних червцях (Dactylopius coccus); ананасовий та малиновий сік – містять природні пігменти, такі як каротиноїди (в ананасі) та антоціани (в малині); екстракт кореня чорної моркви – основним активним компонентом є антоціан, який надає забарвлення від темно-фіолетового до червонуватого. До синтетичних барвників червоного забарвлення належать: азорубін (Е122) – натрієва сіль 4-амінобензойної кислоти ($C_{18}H_{14}N_2Na_2O_8S_2$), надає яскравого червоного забарвлення; тартразин (Е102) – натрієва сіль тартразинової кислоти ($C_{16}H_9N4Na_3O_9S_2$), має жовте забарвлення, проте часто використовується в поєднанні з червоними барвниками для досягнення різного спектру червоного кольору. Вибір між натуральними та синтетичними барвниками залежить від багатьох факторів, включаючи цільову аудиторію, вартість, стабільність кольору та законодавчі вимоги. Натуральні барвники зазвичай вважаються більш безпечними, але можуть бути дорожчими та менш стабільними в порівнянні зі синтетичними.

Визначення вмісту червоних барвників у газованих напоях є актуальним завданням, яке потребує комплексного підходу. Вивчення концентрацій цих барвників не лише дозволяє оцінити відповідність продукції стандартам безпеки, але й забезпечує інформацію для споживачів про можливі ризики, пов’язані з їх споживанням. У рамках дослідження визначено оптичну густину червоних барвників, які входять до складу газованих напоїв червоного кольору різних торгових марок, а саме: №1 - «Соковинка» смак вишні; №2 - «Fanta» з виноградним смаком; №3 - «Лімонада» зі смаком ягід; №4 - «Majo» з соком ананасу; №5 - «Biola» смак персика та малини.

Оптичну густину барвника у зразках солодких напоїв червоного кольору визначали використовуючи фотоколориметр КФК-2 за різних довжин хвиль з товщиною кварцової кювети 2 см. Порівняльним розчином виступала дистильована вода. У таблиці 1 наведено

результати експериментального дослідження оптичної густини різних зразків напоїв від довжини хвилі.

Таблиця 1. Експериментальні дані дослідження оптичної густини зразками напоїв різних виробників від довжини хвилі

λ, нм	«Соковинка» смак вишні	«Fanta» з виноградним смаком	«Лімонада» зі смаком ягід	«Majo» з соком ананасу	Biola» смак персика та малини
	D, від.од.				
364	0,95	1,49	1,3	0,54	0,62
400	0,64	1,4	1,11	0,303	0,71
440	0,689	1,5	1,35	0,29	0,91
490	0,85	1,5	1,5	0,33	1,5
540	0,76	1,49	1,4	0,29	1,2
670	0,028	0,26	0,037	0,015	0
750	0,005	0,14	0,005	0,005	0

Як видно з табличних даних, оптимальна довжина хвилі поглинання для всіх зразків напоїв є різною тому для подальших досліджень було вискористано саме їх.

На основі отриманих результатів побудовано графік залежність оптичної густини від довжини хвилі газованих напоїв різних торгових марок (рис. 1).

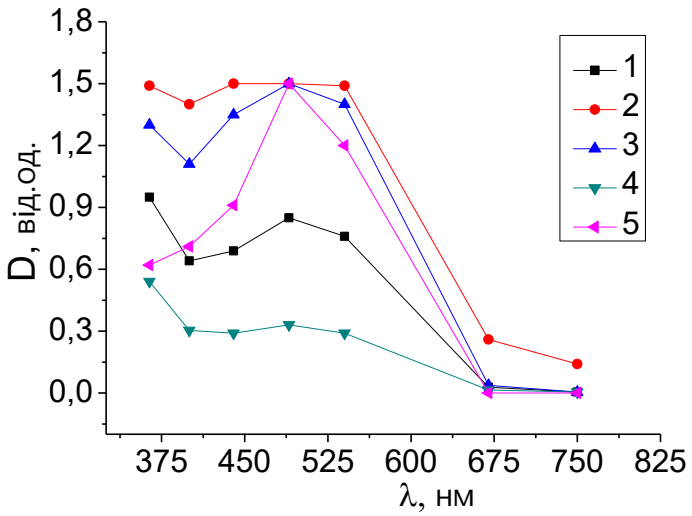


Рис 1. Залежність оптичної густини від довжини хвилі газованих напоїв торгових марок:
1 - «Соковинка» смак вишні; 2 - «Fanta» з виноградним смаком; 3 - «Лімонада» зі смаком ягід; 4 - «Majo» з соком ананасу; 5 - «Biola» смак персика та малини

Дані фотометрії показують, що вміст червоних барвників значно варіюється у різних напоях. Це вказує на відмінності у рецептурах та технологічних процесах виробників, що, своєю чергою, може впливати на кінцевий продукт. Використання фотоколориметрії є адекватним та відносно простим методом для кількісного визначення вмісту барвників, що поглинають у видимій частині спектра. Однак варто враховувати, що цей метод не дозволяє ідентифікувати конкретні типи барвника чи їх можливі домішки.

Отже, використання харчових добавок у газованих кольорових напоях є необхідним для досягнення бажаних смакових, кольорових та консистенційних характеристик. Важливо враховувати безпеку та можливі алергічні реакції на певні добавки при їх використанні.

Перспективами подальшого дослідження стануть фізико-хімічні методи визначення вмісту барвників і консервантів у кольорових солодких газованих напоях та аналіз тенденцій у використанні натуральних сполук замість синтетичних добавок.

1. Vishnu G. at. al. Photodegradation of methylene blue dye using light driven photocatalyst-green cobalt doped cadmium ferrite nanoparticles as antibacterial agents. *Journal of Cleaner Production*. 2023. Vol. 404. 136977. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.136977

2. Мельник С. Р., Мельник Ю. Р., Дзіняк Б. О., Піх З. Г. Контроль якості та безпечності харчових продуктів. Навчальний посібник. Львів: Видавництво «Левада». 2018. 224 с.

3. Савчук Т. І., Кормош Ж. О., Корольчук С. І. Визначення харчових барвників у газованих напоях. *Товарознавчий вісник*. 2021. Вип.14. С. 78-87.

КРИТИЧНИЙ АНАЛІЗ ПІДХОДІВ ДО ОПТИМІЗАЦІЇ QSAR МОДЕЛЕЙ ПРИ ПОШУКУ НОВИХ ЛІКАРСЬКИХ ПРЕПАРАТІВ

Маслов Данило Вадимович,
аспірант, dv.maslov@ukma.edu.ua
Національний університет «Києво-Могилянська академія, Україна

Голуб Олександр Андрійович,
доктор хімічних наук, професор agolub@ukma.edu.ua
Національний університет «Києво-Могилянська академія, Україна

У сучасних дослідженнях QSAR-моделювання переважають повідомлення про успішні результати, тоді як невдалі спроби залишаються поза увагою. Водночас саме вони можуть розкрити реальні межі методів машинного навчання та вказати на типові помилки. Ця робота узагальнює досвід деяких невдалих підходів до побудови моделей активності лігандів рецептора TRPV1, демонструючи, чому популярні техніки можуть не забезпечувати очікуваної точності.

Мета цього дослідження проаналізувати методи машинного навчання та оптимізації QSAR-моделей, які показали гірші результати порівняно з базовим алгоритмом Градієнтне підсилення (Gradient Boosting), і визначити причини їх неефективності.

Для аналізу використано набір 3782 молекул з бази ChEMBL (CHEMBL4794, TRPV1) з 3291 молекулярним дескрипторами. Цільова змінна — pChEMBL Value (5.01–8.52). Базова модель — Gradient Boosting з результатами R^2 = 0.708, MAE = 0.425, RMSE = 0.560. Тестувалися різні підходи: Морганівські відбитки, нейронні мережі, аналіз головних компонентів (PCA), ансамблеві методи (голосування, стекінг), відбір ознак (feature selection), видалення викидів, жорстка регуляризація.

• Застосування Морганівських відбитків продемонструвало втрату фізико-хімічного змісту (R^2 = 0.209). 2048-бітні відбитки описують лише топологію, при цьому не враховується просторова та електронна структура, що критично для TRPV1. Вони не передають параметри розчинності чи ліпофільності, важливі для взаємодії з каналом. Висновок: Морганівські відбитки не замінюють дескриптори для складних біомішеней.

•Глибинне навчання демонструє надмірне перенавчання. Тренувальний (Train) $R^2 \approx 0.9$, тестовий (test) R^2 — катастрофічно низьке. Висновок: Нейронні мережі малоефективні для невеликих QSAR наборів (<5000 молекул).

• Аналіз головних компонентів (PCA) виявив втрату критичних сигналів (R^2 = 0.255). Висновок: PCA не придатна для QSAR; важливіше використовувати значущість ознак (feature importance) з дерев (Trees from Random Forest).

• Ансамблеві-моделі показали відсутність різноманітності (R^2 = 0.654). Висновок: Ансамблі ефективні лише при поєднанні різних типів алгоритмів.

• Відбір ознак (Feature selection) продемонстрував оптимум при виборі біля 150 дескрипторів. Відбір 50 ознак призвів до втрати сигналу (R^2 = 0.685), тоді як 150 дали найкраще співвідношення точності й шуму (R^2 = 0.714). Висновок: надто агресивний відбір шкідливий; важливо знаходити баланс.

• Видалення викидів (Outlier removal) — втрата крайніх випадків (R^2 = 0.695). Висновок: граничні значення часто несуть важливу інформацію про SAR.

Аналіз невдалих підходів довів, що Градієнтне підсилення (Gradient Boosting) залишається оптимальним методом завдяки стабільності й здатності обробляти високо корельовані дескриптори. Ретельний підбір ознак і врахування хімічного контексту (domain knowledge) мають більший вплив, ніж механічне застосування автоматизованих технік.

СИНТЕЗ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ НОВИХ ПОДВІЙНИХ ФОСФАТІВ МІКРОЕЛЕМЕНТІВ У РОСЛИННИЦТВІ

Миронюк Максим Олександрович,
здобувач вищої освіти IV курсу, aspirant_nubipu@ukr.net
Національний університет біоресурсів і природокористування України, Україна

Антрапцева Надія Михайлівна,
доктор хімічних наук, професор, aspirant_nubipu@ukr.net
Національний університет біоресурсів і природокористування України, Україна

Біла Галина Миколаївна,
кандидат хімічних наук, доцент, Bilagalina2013@gmail.com
Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

Необхідність вирішення проблеми керованого використання мікроелементів і збалансованості елементів живлення рослин протягом усього вегетаційного періоду їх розвитку сумнівів вже не викликає.

Наукова основа побудови раціональної системи добрив передбачає, на думку авторів [1], поєднання в єдиній гранулі (молекулі) комплексних добрив макро- і мікроелементів. Переваги таких добрив відзначалися неодноразово, оскільки саме включення в єдину молекулу одночасно декількох поживних елементів полегшує засвоєння їх кореневою системою рослин і виключає прояв відомого антагонізму ряду елементів, наприклад, цинку і фосфору [2].

Оцінюючи асортимент і агрохімічну ефективність перспективних форм добрив, автори [1] вважають, що, в цілому, збережеться тенденція інтенсивного розвитку асортименту та виробництва складних мінеральних добрив з мікроелементами.

Перспективними в цьому плані є мінеральні добрива з мікроелементами на основі солей фосфатних кислот, вміст і співвідношення мікроелементів в складі яких можна керовано змінювати в широких межах – подвійні фосфати мікроелементів, зокрема водорозчинні дигідрогенфосфати.

Відомості про умови їх синтезу та агрохімічну ефективність в літературі відсутні.

Мета даної роботи – синтезувати нові подвійні дигідрогенфосфати магнію і мікроелементів (цинку, мангану, кобальту), визначити доступність для рослин елементів живлення, що входять до їх складу, і оцінити вплив на зростання, розвиток і якість сільськогосподарських культур.

В якості основних об’єктів дослідження використовували водорозчинні подвійні фосфати магнію і мікроелементів складу $Mg_{1-x}M^{II}_x(H_2PO_4)_2 \cdot 2H_2O$ і $M^{II}_{1-x}M^{II}_x(H_2PO_4)_2 \cdot 2H_2O$ ($0<x\leq1.0$, M^{II} = Mn, Zn, Co). Одержували їх взаємодією гомогенізованої суміші відповідних гідроксокарбонатів з фосфатною кислотою (норма 140-160% від стехіометричної кількості) аналогічно описаному в [3]. Співвідношення магнію і мікроелементів у складі вихідних реагентів змінювали від 0 до 100.

Вибір основних технологічних параметрів синтезу (співвідношення Mg/ M^{II} , M^{II} = Mn, Zn, Co в складі гідроксокарбонатів, концентрація і норма фосфатної кислоти, температурний режим) здійснювали за результатами окремих серій дослідів.

Відповідно до результатів хімічного аналізу, вміст мікроелементів в складі синтезованих дигідрогенфосфатів змінюється в межах, % мас.: MgO – 15.7-0.1, MnO – 0.1-24.2, ZnO – 0.1-28.1, CoO – 0.1-25.6. Це вигідно відрізняє подвійні фосфати від відомих на даний час складних фосфорних добрив, що містять магній і мікроелементи.

Агрохімічну ефективність синтезованих подвійних дигідрогенфосфатів магнію і мікроелементів вивчали в дослідах з кукурудзою гібриду "Дніпровський 247". Насіння рослин висаджували в піщану і ґрунтову культури на фоні повної поживної суміші Гельрігеля (ППС)

– еталонна суміш для встановлення агрохімічної ефективності добрив [4,5]. Як варіанти порівняння використовували стандартні добрива. Крім того, схема дослідів передбачала в одному з варіантів порівняння з механічною сумішшю індивідуальних дигідрогенфосфатів, взятих в еквівалентних кількостях.

Протягом вегетації рослин проводили замір їх висоти; в період збирання зеленої маси визначали масу 100 рослин. Вміст фосфору визначали колориметрично, магнію, мікроелементів – на атомно-адсорбційному аналізаторі. Розрахунки за вмістом поживних речовин в рослинах проводили у перерахунку на абсолютно суху речовину [5].

Одержані результати свідчать про високу ефективність подвійних дигідрогенфосфатів магнію і мікроелементів в якості мінеральних добрив, особливо, на ранніх стадіях розвитку рослин. Внаслідок внесення $Mg_{1-x}Zn_x(H_2PO_4)_2 \cdot 2H_2O$, наприклад, спостерігалося посилення зростання і збільшення маси культури. Вміст фосфору, магнію, цинку в рослинах також перевершував аналогічні показники контрольних варіантів досліду.

Результатами трирічних вегетаційних дослідів з томатами сорту "Українець" встановлено, що передпосівна обробка насіння томатів розчином дигідрогенфосфату магнію-цинку викликає сорбцію фосфат-йонів клітинними стінками на її поверхні, активізує кислу фосфатазу і глутамінсинтетазу коренів, стабілізує їх катіонний обмін. Мобілізація фосфору на ранніх етапах росту і розвитку томатів дозволяє отримати розсаду з добре розвиненою кореневою системою (довжина коренів збільшується на 40% у порівнянні з контролем), стебловою опушеністю, з темно-зеленою асиміляційною поверхнею листя.

Якісні зміни розсади за рахунок збагачення наземної частини макро- і мікроелементами позитивно позначилися на врожаї стиглих плодів, який збільшився (в середньому за три роки) на 17%. Покращився якісний склад стиглих плодів: вміст цукрів збільшився на 0,7-0,36%; вітаміну С – підвищився на 23,98 мг% проти 17,6 мг% на контролі; зросла сума органічних кислот і збільшився на 0,40-0,48% вміст сухої речовини (табл. 1).

Таблиця 1. Ефективність дії $Mg_{1-x}Zn_x(H_2PO_4)_2 \cdot 2H_2O$ $(0 \le x \le 1,0)$ на урожай та якість плодів томату

Варіант передпосівної обробки насіння	Маса плодів з 1 куща, г	% від контролю	Цукри, %			Аскорбінова кислота, мг%	Загальна кислотність %	Суха речовина, %
			S- цукрів	редукуючі	сахароза			
0,02% водний розчин дигідрогенфосфату	2531,2	118,4	3,02	2,00	0,969	23,98	0,710	5,80
Еквівалентна суміш $MgSO_4$ і $ZnSO_4$	2276,6	106,5	2,79	1,96	0,788	22,69	0,609	5,40
H_2O (бідистилят)	2137,3	100,0	2,23	1,82	0,665	17,60	0,557	5,32

Особливо слід відзначити, що кількість нітратів в отриманій продукції знизилася (в порівнянні з контролем) в 1,5 рази і склала 29,24 мг/кг сирої маси, що в 3,2 рази нижче ГДК.

Таким чином, використання подвійних дигідрогенфосфатів $Mg_{1-x}Zn_x(H_2PO_4)_2 \cdot 2H_2O$ $(0 \le x \le 1,0)$ для передпосівної обробки насіння є ефективним засобом підвищення врожаю і якості плодів томатів та зниження вмісту в них нітратів.

У результаті проведених досліджень показана перспективність використання у рослинництві подвійних водорозчинних дигідрогенфосфатів магнію і мікроелементів (мангану, кобальту, цинку) як високоефективних добрив з керованим вмістом мікроелементів.

1. Паламарчук В. Д., Полищук І. С., Венедіктов О. М. Система сучасних інтенсивних технологій у рослинництві. Вінниця : ФОП Данилюк, 2011. 432 с.

2. Acton A. Q. Phosphates – advances in research and application. Atlanta, Georgia : Scholarly Editions, 2013. 374 p.
3. Антрапцева Н. М. Солод Н. В. Тверді розчини фосфатів мікроелементів : монографія. Київ : ЦП КОМПРИНТ, 2017. 240 с.
4. Господаренко Г. М. Практикум з агрохімії. К. : Вища шк., 2020. 148 с.
5. Городній М. М., Лісовал А. М., Бикін А. В. та ін. Агрохімічний аналіз: підручник. К. : Арістатель, 2005.476 с.

МЕТОДИ СТАБІЛІЗАЦІЇ НАНОЧАСТИНОК

Муквич Владислава Юріївна,
здобувачка вищої освіти ІІ курсу, mukvichvlada@gmail.com
Сумський державний університет, Україна

Пшеничний Роман Миколайович,
кандидат хімічних наук, доцент, r.pshenychnyi@chem.sumdu.edu.ua
Сумський державний університет, Україна

Нанотехнології корисні для виявлення захворювань, діагностичної візуалізації, тканинної інженерії, розповсюдження ліків та лікування захворювань [1]. Однак практичне застосування наночастинок часто ускладнене низкою проблем, зокрема їхньою схильністю до агрегації, що призводить до зміни фізико-хімічних властивостей у біологічних середовищах. Це може знижувати стабільність, біосумісність і ефективність, що обмежує використання наночастинок у клінічній практиці. Тому розробка ефективних методів стабілізації є ключовим завданням для забезпечення їх безпечного та контрольованого функціонування.

Загальновідомо, що наночастинки у вільній формі є термодинамічно нестабільними через високу поверхневу енергію. Унаслідок броунівського руху наночастинки з високою поверхневою енергією стикаються одна з одною, і характер їх подальшої поведінки визначається типом взаємодій між колоїдними частинками [2]. Коли взаємодія між наночастинками переважається силами тяжіння, колоїдні частинки будуть злипатися одна з одною, доки не відбудеться стабілізація частинок. Коли між наночастинками домінують сили відштовхування, колоїдні частинки досить стабільні в диспергованому стані. Сили Ван-дер-Ваальса є основним джерелом тяжіння між колоїдними частинками. Коли сильна сила відштовхування (борнівське відштовхування) протидіє ван-дер-Ваальсовому тяжінню, наночастинки залишаються в диспергованому стані. Протидіючі сили відштовхування можуть бути посилені зарядовим відштовхуванням та стеричними перешкодами. Стабілізація передбачає запобігання або мінімізацію агломерації та підтримку дисперсного стану наночастинок [3].

Існує кілька основних підходів до стабілізації наночастинок, спрямованих на запобігання агрегації та збереження їх колоїдної рівноваги. Залежно від механізму, що лежить в основі утворення міжчастинкових відштовхувальних сил, виділяють електростатичну, стеричну та електростеричну стабілізацію. Кожен із цих методів базується на певному типі взаємодій між наночастинками та стабілізуючими агентами, визначаючи ступінь стійкості, біосумісність і поведінку наночастинок у різних середовищах. Нижче розглянуто основні принципи та механізми кожного з цих підходів.

Джерелом електростатичної стабілізації є сила електростатичного відштовхування, яку відчувають наночастинки, коли вони оточені подвійним шаром електричних зарядів. Теорія Дерягіна, Ландау, Вервея та Овербека (DLVO) розглядає спочатку заряджені колоїдні частинки, у яких електричні заряди рівномірно розподілені по їхній поверхні. Загальний енергетичний потенціал V_T взаємодії між двома частинками тоді описується як сума внесків притягання (ван-дер-ваальса) та сил відштовхування (через подвійний шар протиіонів). Висота загального потенційного бар'єру V_T визначає, чи є частинки стабільними (кінетична енергія E_k руху частинок менша за V_T) чи ні ($E_k > V_T$). На практиці електростатична стабілізація досягається шляхом утворення подвійного електричного шару, що виникає внаслідок поглинання поверхнею частинки заряджених іонів. Електростатична стабілізація передбачає використання заряджених агентів, що оточують частинки, таких як цитрат натрію, де негативно заряджені наночастинки, покриті цитратом, притягують позитивно заряджені контркатіони з навколишнього розчину. Це призводить до утворення дифузного подвійного електричного шару, який створює кулонівське відштовхування між частинками [4].

Інший механізм стабілізації ґрунтується на стеричному відштовхуванні між молекулами або йонами, адсорбованими на сусідніх частинках. Розмір і хімічна природа цих молекул визначають ступінь стабілізації. Через геометричні обмеження навколо наночастинок, великі й громіздкі молекули забезпечують особливо ефективну стабілізацію, а витягнута або конічна форма таких молекул є перевагою для запобігання зближенню наночастинок. Стеричної стабілізації можна досягти, оточуючи наночастинки стерично об'ємними матеріалами, такими як поверхнево-активні речовини та полімери. Поверхнево-активні речовини забезпечують бар'єр, який зупиняє агломерацію, прилипаючи до поверхні наночастинок. Залежно від їхнього заряду, їх можна класифікувати як цвітер-іонні, неіонні або іонні (аніонні, катіонні) [5]. Завдяки досягненням в органічній та полімерній хімії існує безліч спеціально розроблених покривних матеріалів та методів нанесення покриттів наночастинок. Ключовою вимогою до покриттів залишається збереження високої колоїдної стабільності наночастинок на всіх етапах – від синтезу до практичного застосування [6].

Електростерична стабілізація поєднує механізми електростатичного відштовхування та стеричних оболонок, забезпечуючи високу стійкість наночастинок навіть у середовищах із підвищеною іонною силою [7]. Такий тип стабілізації реалізується при покритті наночастинок полімерними або біополімерними сполуками, які водночас надають поверхні заряд і створюють просторовий бар’єр, що запобігає зближенню частинок. До стабілізаторів цього типу належать хітозан, желатин, поліетиленгліколь та інші полімери з зарядженими або гідрофільними групами.

Стабілізація наночастинок є ключовою умовою їх ефективного використання у біомедичних застосуваннях. Висока поверхнева енергія частинок сприяє агрегації, тому вибір оптимального способу стабілізації визначає збереження їхніх фізико-хімічних властивостей і біосумісності. Стабілізація забезпечує підтримання дисперсного стану наночастинок у складних біологічних середовищах, що підвищує їх стабільність і передбачувану поведінку. Поєднання різних підходів, зокрема використання полімерних і біополімерних покриттів, є найперспективнішим напрямом для створення стабільних і безпечних наноматеріалів, придатних для застосування in vitro та in vivo.

1. Materials and methods of signal enhancement for spectroscopic whole blood analysis: novel research overview / J. Soleymani et al. *TrAC trends in analytical chemistry*. 2017. Vol. 86. P. 122–142. URL: https://doi.org/10.1016/j.trac.2016.10.006 (date of access: 02.11.2025).

2. Vollath D., Fischer F. D., Holec D. Surface energy of nanoparticles – influence of particle size and structure. *Beilstein journal of nanotechnology*. 2018. Vol. 9. P. 2265–2276. URL: https://doi.org/10.3762/bjnano.9.211 (date of access: 02.11.2025).

3. Kraynov A., E. T. Concepts for the stabilization of metal nanoparticles in ionic liquids. *Applications of ionic liquids in science and technology*. 2011. URL: https://doi.org/10.5772/22111 (date of access: 02.11.2025).

4. Selvamani V. Stability studies on nanomaterials used in drugs. *Characterization and biology of nanomaterials for drug delivery*. 2019. P. 425–444. URL: https://doi.org/10.1016/b978-0-12-814031-4.00015-5 (date of access: 02.11.2025).

5. C F. C., T K. Advances in stabilization of metallic nanoparticle with biosurfactants- A review on current trends. *Heliyon*. 2024. P. e29773. URL: https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e29773 (date of access: 02.11.2025).

6. Schubert J., Chanana M. Coating matters: review on colloidal stability of nanoparticles with biocompatible coatings in biological media, living cells and organisms. *Current medicinal chemistry*. 2018. Vol. 25, no. 35. P. 4553–4586. URL: https://doi.org/10.2174/0929867325666180601101859 (date of access: 02.11.2025).

7. Chanteau B., Fresnais J., Berret J. F. Electrosteric enhanced stability of functional sub-10 nm cerium and iron oxide particles in cell culture medium. *Langmuir*. 2009. Vol. 25, no. 16. P. 9064–9070. URL: https://doi.org/10.1021/la900833v (date of access: 02.11.2025).

ВИЗНАЧЕННЯ ВМІСТУ ХАРЧОВИХ БАРВНИКІВ У КОЛЬОРОВИХ ГАЗОВАНИХ НАПОЯХ

Невмержицька Галина Валентинівна
здобувач вищої освіти ІІ курсу другого (магістерського) рівня вищої освіти,
nevmerzhitska06@gmail.com
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Євдоченко Олена Сергіївна
доктор філософії, доцент,
lusichemis@gmail.com
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Сучасна харчова промисловість активно використовує барвники для надання продуктам привабливого вигляду. Зокрема, у газованих напоях натуральні та синтетичні барвники забезпечують яскраве забарвлення, яке впливає на сприйняття смаку та комерційну привабливість продукції. Проте одним із важливих аспектів якості таких напоїв є стійкість барвників до дії зовнішніх чинників, зокрема – світла. Під впливом ультрафіолетового (УФ) випромінювання або тривалого освітлення можливе руйнування барвників, тобто процес фотодеструкції, який призводить до зміни кольору, зниження якості та навіть утворення небажаних сполук.

Багато харчових продуктів – цукерки, желе, мармелад, льодяники, драже, зефір, морозиво та солодкі напої можуть містити синтетичні барвники, серед яких трапляються як заборонені в країнах ЄС, так і дозволені, але у надмірній кількості. Аналіз наукових джерел свідчить, що нині спостерігається зростання використання синтетичних харчових барвників, особливо у виробництві кондитерських виробів і напоїв. У деяких зразках таких продуктів виявляли навіть неідентифіковані барвники, зокрема текстильного походження. Такі речовини становлять небезпеку для здоров'я людини, адже можуть спричиняти мутації, онкологічні захворювання, зниження рівня гемоглобіну та розвиток алергічних реакцій[1,2,3].

У роботі здійснено визначення вмісту харчового барвника класу Е150. Цей барвник надає продуктам коричневі відтінки від світло-жовтого до темно-коричневого та використовується в харчовій промисловості для фарбування напоїв, кондитерських, хлібобулочних виробів. Існує чотири основні типи карамельного колеру (Е150a, Е150b, Е150c, Е150d), які відрізняються технологією виробництва. Ці відмінності можуть впливати на властивості барвника та його застосування у різних продуктах. Коричневий колір забезпечується полімерними групами, такими як карамелан, карамелен та карамелін, які утворюються під час карамелізації цукру. При виробництві певних типів карамельного колеру (зокрема, Е150c та Е150d) можуть утворюватися мінорні домішки (наприклад, 4-метилімідазол). Хоча ці рівні вважаються безпечними, цей аспект є предметом додаткових наукових досліджень. Незважаючи на загальне визнання безпечності, існують публікації та обговорення щодо потенційної шкоди деяких видів карамельного барвника, що свідчить про необхідність інформування споживачів.

Об'єктом дослідження виступили зразки напоїв, що містять у своєму складі барвник класу Е150 та мають карамельне забарвлення, а саме: «Живчик із соком яблука», «Моршинська Лимонада зі смаком яблука», «Караван Делішес», «SPRICE Лімонадо» та «НАША ВОДА Лимонад».

Оптичну густину барвника у зразках солодких напоїв визначали використовуючи фотоколориметр КФК-2 за різних довжин хвиль з товщиною кварцової кювети 2 см. Порівняльним розчином виступала дистильована вода. У таблиці 1 наведено результати експериментального дослідження оптичної густини різних зразків напоїв від довжини хвилі.

Таблиця 1. Експериментальні дані дослідження оптичної густини зразками напоїв різних виробників від довжини хвилі

λ, нм	**«Живчик із соком яблука»**	**«Моршинська Лимонада зі смаком яблука»**	**«Караван Делішес»**	**«SPRICE Лімонадо»**	**«НАША ВОДА Лимонад»**
	D, від.од.				
364	-	-	-	-	-
400	**0,111**	**0,290**	**0,141**	**0,172**	**0,163**
440	0,08	0,19	0,110	0,09	0,08
490	0,05	0,0105	0,05	0,09	0,09
540	0,024	0,051	0,025	0,054	0,055
670	0,024	0,03	0,024	0,054	0,05
750	0,022	0,026	0,024	0,049	0,048

Як видно з табличних даних, оптимальна довжина хвилі поглинання для всіх зразків напоїв становить 400 нм, тому саме цю довжину хвилі використано для подальших досліджень.

Дані фотометрії показують, що вміст карамельного барвника (Е150) значно варіюється у різних напоях. Це вказує на відмінності у рецептурах та технологічних процесах виробників, що, своєю чергою, може впливати на кінцевий продукт. Використання фотоколориметрії є адекватним та відносно простим методом для кількісного визначення вмісту барвників, що поглинають у видимій частині спектра. Однак варто враховувати, що цей метод не дозволяє ідентифікувати конкретні типи барвника Е150 (a, b, c, d) чи їх можливі домішки.

Перспективами подальшого дослідження стане визначення реальної концентрації барвника у досліджуваних зразках на основі отриманих значень оптичної густини та за допомогою калібрувальної кривої (яка не була представлена в тезах). Це дозволить порівняти їх із гранично допустимими нормами, встановленими регуляторними органами.

1. Vishnu G. at. al. Photodegradation of methylene blue dye using light driven photocatalyst-green cobalt doped cadmium ferrite nanoparticles as antibacterial agents. *Journal of Cleaner Production*. 2023. Vol. 404. 136977. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.136977

2. Мельник С. Р., Мельник Ю. Р., Дзіняк Б. О., Піх З. Г. Контроль якості та безпечності харчових продуктів. Навчальний посібник. Львів: Видавництво «Левада». 2018. 224 с.

3. Савчук Т. І., Кормош Ж. О., Корольчук С. І. Визначення харчових барвників у газованих напоях. *Товарознавчий вісник*. Вип.14. 2021. С. 78-87.

РОЛЬ ВОДНЕВИХ ЗВ'ЯЗКІВ У ФОРМУВАННІ СТРУКТУРНИХ ТА ДИНАМІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ЙОННОЇ РІДИНИ ЕТИЛАМОНІЙ ФОРМІАТ

Піскунов Ілля Ігорович,
Аспірант кафедри неорганічної та аналітичної хімії ННІ Хімії, ipiskunov@gmail.com,
Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна, Україна

Калугін Олег Миколайович,
Кандидат хімічних наук, професор, директор ННІ Хімії, onkalugin@karazin.ua
Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна, Україна

Іонні полімерно-металеві композити (ІПМК) набули значної уваги як високоперспективні матеріали для використання у сучасному поколінні електрохімічних пристроїв, включаючи високочутливі сенсори, композитні активатори та паливні елементи. Експлуатаційні характеристики та довговічність ІПМК нерозривно пов'язані з ефективністю переносу заряду, що забезпечується електролітом. Традиційні електроліти, зокрема Nafion, мають суттєві недоліки: висока вартість виробництва, обмежений температурний діапазон застосування та недостатня хімічна стабільність. У зв'язку з цим, пошук, синтез та теоретичні дослідження нових, економічно вигідних та високостабільних електролітних систем є пріоритетом у матеріалознавстві та електрохімії. Завдяки своїй особливій хімічній природі, протонні іонні рідини демонструють виняткову термічну та електрохімічну стійкість, що робить їх надзвичайно привабливими кандидатами для ефективної інтеграції в ІПМК [1].

Протонні іонні рідини (ПІР) являють собою унікальний клас рідких органічних солей, що мають температуру плавлення нижче 100 °C, які формуються шляхом переносу протона між кислотою і основою (1):

$$B + HA \leftrightarrow BH^+ + A^- \quad (1)$$

Зважаючи на велику можливу кількість комбінацій катіонів і аніонів ПІР, кількісне прогнозування їхньої електропровідності є складним завданням, оскільки в таких системах спостерігається динамічна рівновага між повністю іонізованою та молекулярною формою (часткова дисоціація), а транспорт протонів відбувається за змішаним механізмом [2]. Одним із потужних методів, який насьогодні залишається популярним і ефективним для передбачення властивостей конденсованих систем є молекулярно динамічне моделювання (МД моделювання). Методологія МД моделювання передбачає розробки силових полів задля розуміння міжмолекулярної динаміки та структури рідкої фази речовини.

У представленій роботі було розроблено та валідовано силове поле для класичного молекулярно-динамічного (МД) моделювання двох бінарних систем: (1) суміш етиламіну та мурашиної кислоти, та (2) іонну рідину – етиламоній форміат (рис. 1).

Параметризація незв'язаних потенціалів виконувалася на основі високоточних квантово-хімічних розрахунків, які охоплювали оптимізацію геометрії та детальний аналіз електростатичного потенціалу. Для генерації внутрішньомолекулярних та міжмолекулярних далекодіючих параметрів використовувалися сервер LigParGen та програмний пакет Gaussian. Для забезпечення надійності та універсальності розробленої моделі силового поля було промодельовано десять систем змінного складу, що дозволило детально охопити перехідний діапазон від суміші нейтральних молекулярних розчинників до чистої іонної рідини.

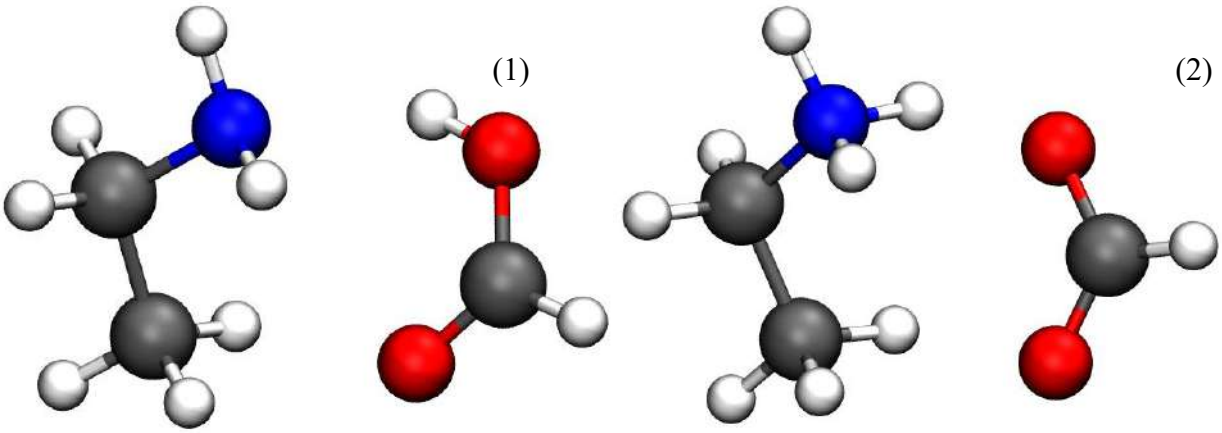


Рис. 1. Досліджувані частинки: етиламін і метанова кислота (1), етиламоній форміат (2)

МД моделювання проводилось із використанням програмного пакету GROMACS v2025. За результатами цих розрахунків було встановлено як структурні (функції радіального розподілу, координаційні числа), так і динамічні (коефіцієнти дифузії, в’язкість) властивості модельованих систем.

Особливу увагу було приділено дослідженню водневих зав’язків, які можуть утворюватися між компонентами досліджуваних систем. За допомогою методу QTAIM (Квантова теорія атомів у молекулах), були ідентифіковані критичні точки зв'язку та розраховані топологічні властивості густини заряду між частинами [3]. Цей підхід забезпечує глибоке розуміння природи водневих зав’язків і інших нековалентних взаємодій у системі. Отримані результати з кількісних характеристик водневих зав’язків дають можливість зрозуміти природу міжмолекулярної взаємодії як у суміші молекулярних розчинників, так і в системах із частковою іонізацією. Це відкриває шлях для розуміння механізмів переносу заряду та оптимізації складу ПІР для їхнього ефективного застосування в ІПМК.

1. Wang H. S., Cho J., Park H. W., Jho J. Y., Park J. H. Ionic polymer–metal composite actuators driven by methylammonium formate for high-voltage and long-term operation. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry* 2021, *96* 194-201.

2. Abdurrokhman I., Martinelli A. Binary mixtures of imidazolium-based protic ionic liquids. Extended temperature range of the liquid state keeping high ionic conductivities. *Frontiers in Chemistry* 2022, *Volume 10 - 2022*.

3. Koverga V. A., Voroshylova I. V., Smortsova Y., Miannay F.-A., Cordeiro M. N. D. S., Idrissi A., Kalugin O. N. Local structure and hydrogen bonding in liquid γ-butyrolactone and propylene carbonate: A molecular dynamics simulation. *J. Mol. Liq.* 2019, *287* 110912.

СУЧАСНІ АСПЕКТИ ЗАСТОСУВАННЯ НАНОМАТЕРІАЛІВ У ФАРМАЦІЇ

Поліщук Ігор Ігорович
здобувач І курсу другого (магістерського) рівня вищої освіти,
igor.polishchuck.1990@gmail.com
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Кусяк Наталія Володимирівна
кандидат хімічних наук, доцент, nkusyak@ukr.net
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Застосування наноматеріалів у фармації дозволяє розробляти інноваційні системи доставки ліків, забезпечувати контрольоване вивільнення діючих речовин і підвищувати біодоступність препаратів. До найбільш поширених видів наноматеріалів, що використовуються у фармацевтичних технологіях, належать: неорганічні наночастинки (срібла, золота, оксиду цинку, діоксиду титану); ліпосоми та нанокапсули, що забезпечують контрольоване вивільнення активних речовин; дендримери — полімерні структури з високою молекулярною впорядкованістю; вуглецеві наноструктури (нанотрубки, графен), перспективні як носії біоактивних сполук (рис.) [1,2]. Кожен тип наноматеріалів має специфічні властивості, які визначають їхнє застосування. Неорганічні наночастинки характеризуються стабільністю і вираженими антимікробними властивостями; ліпосоми — біосумісністю та здатністю інкапсулювати як гідрофільні, так і ліпофільні сполуки; дендримери забезпечують точне дозування; а вуглецеві наноструктури мають велику поверхню для взаємодії з біомолекулами [3]. Використання наноматеріалів у створенні лікарських засобів дозволяє покращити їх фармакокінетичні та фармакодинамічні характеристики. Нанопрепарати забезпечують контрольоване вивільнення діючих речовин, спрямовану доставку і зменшують загальне навантаження [4].

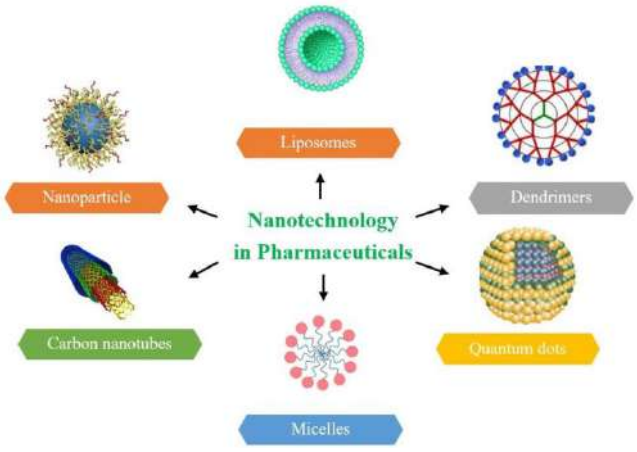


Рис. 1 Схематичне зображення сфер застосування наноматеріалів у фармації [2].

Основні переваги наноматеріалів:

1. Підвищення розчинності та біодоступності малорозчинних речовин. Багато лікарських засобів мають низьку розчинність у воді, що обмежує їх засвоєння в організмі. Наноматеріали (наприклад, нанокапсули, нанокристали, ліпосоми) забезпечують: збільшення площі поверхні частинок, що підвищує швидкість розчинення; покращення проникності через клітинні мембрани; зменшення втрат діючої речовини у травному тракті або при системному введенні. Наприклад: нанокристали ібупрофену або куркуміну мають значно вищу біодоступність порівняно з традиційними формами.

2. Пролонговане та контрольоване вивільнення активних компонентів. Наноматеріали дозволяють створювати “розумні” системи доставки, які забезпечують поступове, дозоване виділення лікарської речовини у потрібному місці й упродовж тривалого часу. Це зменшує частоту прийому препарату та підвищує ефективність лікування. Наприклад: нанокапсули з полімерним покриттям поступово вивільняють інсулін або антибіотик протягом 24–72 годин.

3. Таргетна доставка до уражених клітин. За допомогою нанотехнологій можна створювати системи, які спрямовують лікарський засіб безпосередньо до місця патологічного процесу — наприклад, у пухлинні клітини або запальні ділянки. Використовуються магнітні

наночастинки, ліпосоми з лігандами, наноносії з антитілами, що розпізнають специфічні рецептори клітин. Наприклад: ліпосомальний доксорубіцин застосовується для цільового лікування раку, зменшуючи вплив препарату на здорові клітини.

4. Зменшення токсичності та побічних ефектів. Завдяки контрольованому вивільненню та таргетності, наноматеріали мінімізують дію препарату на здорові тканини, знижуючи токсичність і ймовірність побічних реакцій. Також можливо зменшити терапевтичну дозу без втрати ефективності. Наприклад: наноформульовані протипухлинні засоби викликають менше уражень серцевого м'яза порівняно зі звичайними цитостатиками.

5. Можливість комбінованої терапії (тераностика). Наночастинки можуть одночасно нести лікарський засіб і діагностичний агент, що дозволяє поєднати терапію та діагностику. Такі системи дають змогу в реальному часі відстежувати дію ліків і їхнє накопичення в організмі. Наприклад: золоті наночастинки, поєднані з флуоресцентними маркерами, дозволяють одночасно лікувати пухлину й контролювати її розміри за допомогою візуалізації.

6. Підвищення стабільності лікарських форм. Наноматеріали здатні захищати активні речовини від дії світла, кисню, ферментів та коливань температури, тим самим подовжуючи термін придатності і стабільність препарату. Також вони запобігають передчасному руйнуванню речовини до моменту її потрапляння у цільову зону. Наприклад: ліпосомальні форми вітаміну С або антиоксидантів мають стабільність, що в кілька разів перевищує традиційні водні розчини [1, 4].

Наноматеріали набули широкого застосування в сучасній фармації завдяки своїм унікальним фізико-хімічним властивостям — надзвичайно великій питомій поверхні, біосумісності, здатності до модифікації поверхні та контрольованого вивільнення лікарських засобів. Їх використання забезпечує створення нового покоління лікарських форм, що відзначаються підвищеною ефективністю, безпечністю та можливістю індивідуалізації терапії.

1. Наноліпосомальні форми антибіотиків і протипухлинних препаратів. Наноліпосоми є сферичними везикулами, утвореними з фосфоліпідного бішару, у якому інкапсульовано активну речовину. Такі системи: захищають діючу речовину від деградації у біологічних рідинах; забезпечують контрольоване вивільнення препарату у зоні патологічного процесу; зменшують системну токсичність і побічні ефекти.

2. Наногелі, нанокреми й наноемульсії у дерматології та косметології. Наногелі та наноемульсії використовуються для локального транспорту активних речовин через шкіру, що підвищує ефективність лікування дерматологічних захворювань і покращує косметичний ефект. Переваги таких систем: збільшення проникності через роговий шар епідермісу; рівномірний розподіл препарату у шкірі; пролонгована дія без подразнення.

3. Нанонесучі системи для введення інсуліну, гормонів та вакцин. Сучасні нанотехнології дозволяють створювати альтернативу ін'єкційним формам — системи, що доставляють пептидні та білкові препарати (інсулін, гормони, вакцини) через слизові оболонки або шкіру. Такі носії: підвищують стабільність чутливих до ферментів біомолекул; забезпечують контрольоване всмоктування; можуть застосовуватись у формі назальних спреїв, пластирів або інгаляторів.

4. Біосенсори й наномаркери для діагностики та моніторингу лікування. Наноматеріали активно застосовуються в нанодіагностиці — галузі, що поєднує біотехнології та нанохімію для раннього виявлення захворювань і контролю ефективності терапії. Наночастинки можуть виступати як флуоресцентні, магнітні або оптичні маркери, здатні виявляти навіть мінімальні концентрації біомолекул.

Таким чином, наноматеріали стають ключовим інструментом персоналізованої медицини, дозволяючи поєднати лікування, діагностику та профілактику в єдину високоефективну систему [3, 5]. Завдяки впровадженню нанотехнологічних підходів, наноматеріали сприяють створенню лікарських засобів нового покоління, які поєднують у собі високу ефективність, безпечність та індивідуалізацію терапії. Такі препарати забезпечують точне дозування та контрольоване вивільнення активних речовин без перевищення

терапевтичних меж, що мінімізує ризик передозування й побічних ефектів. Використання таргетних наносистем дає можливість спрямовано доставляти ліки безпосередньо до патологічного вогнища — пухлинних клітин, запальних ділянок чи інфекційних агентів, не ушкоджуючи здорові тканини. Крім того, біосумісні та біодеградовані нанонесії дозволяють адаптувати терапію до індивідуальних особливостей організму пацієнта — його метаболізму, генетичних характеристик та чутливості до препаратів. Такі системи відкривають шлях до персоналізованої медицини, у якій кожен препарат може бути оптимізований під конкретного пацієнта, забезпечуючи максимальний терапевтичний ефект при мінімальних ризиках для здоров'я [4, 5].

Попри значний потенціал, широке впровадження наноматеріалів у фармацевтичну практику супроводжується низкою наукових і регуляторних викликів. Насамперед, залишається недостатньо вивченою токсикокінетика наночастинок, тобто шляхи їх всмоктування, розподілу, метаболізму та виведення з організму. Через малі розміри й високу реакційну здатність наночастинки можуть проникати через біологічні бар'єри (гематоенцефалічний, плацентарний, клітинні мембрани), що ускладнює прогнозування їх поведінки в організмі. Існує також ризик біоакумуляції — накопичення наночастинок у тканинах печінки, нирок, легенів або мозку, що потенційно може призвести до оксидативного стресу, запальних процесів або генотоксичних ефектів при тривалому застосуванні.

Важливим залишається й питання впливу фізико-хімічних властивостей наночастинок (розміру, форми, заряду, покриття поверхні) на їхню токсичність, біосумісність і фармакологічну активність [4]. Для забезпечення безпечного використання нанотехнологій у медицині потрібні довготривалі доклінічні та клінічні дослідження, а також уніфікація міжнародних стандартів щодо оцінки їхньої токсикологічної безпечності [4]. Крім того, існує суттєва складність стандартизації методів контролю якості нанопрепаратів, оскільки традиційні підходи, застосовувані у фармацевтичній аналітиці, не завжди придатні для оцінки властивостей нанорозмірних систем. Зокрема, необхідно враховувати такі параметри, як розмір частинок, їх морфологія, полідисперсність, поверхневий заряд, стабільність у біологічних середовищах і взаємодія з макромолекулами. Відсутність уніфікованих методик призводить до варіабельності результатів між різними лабораторіями, що ускладнює реєстрацію та сертифікацію нанопрепаратів.

Не менш важливою проблемою є недосконалість законодавчої бази. У більшості країн, включно з Україною, наноматеріали поки що не виділені в окрему категорію фармацевтичних субстанцій, а отже, їх регулювання відбувається за загальними нормами, які не враховують специфіки нанорозмірних систем. Це створює прогалини у питаннях оцінки безпеки, фармаконагляду, маркування та етичного використання таких препаратів [1]. Для мінімізації потенційних ризиків необхідно проводити комплексні дослідження біосумісності та токсичності наноматеріалів на клітинному, тканинному і системному рівнях, а також розробити міжнародні стандарти та рекомендації (ISO, OECD, ВООЗ, ЕМА) щодо оцінки їхньої якості, ефективності й безпечності. Тільки за умови створення єдиної нормативної та методичної бази можливе відповідальне та контрольоване впровадження нанотехнологій у фармацевтичну практику [1].

У майбутньому очікується інтенсивний розвиток "розумних" наносистем, які здатні динамічно змінювати свої фізико-хімічні властивості у відповідь на вплив зовнішніх або внутрішніх факторів організму, таких як pH середовища, температура, концентрація ферментів, рівень глюкози або специфічні біомаркери патологічних процесів. Такі системи відкривають можливість для створення адаптивних лікарських форм, що самостійно регулюють швидкість і місце вивільнення активної речовини, забезпечуючи максимальну терапевтичну ефективність при мінімальній токсичності. Перспективним напрямом є інтеграція нанотехнологій із біоінформатикою та системною біологією, що дозволить моделювати взаємодію наночастинок з клітинними структурами, прогнозувати їх фармакокінетичні параметри і підбирати оптимальні характеристики для конкретного пацієнта. Крім того, поєднання нанотехнологій із 3D-друком лікарських форм дає змогу

створювати персоналізовані препарати з точною дозою, складом і профілем вивільнення безпосередньо під індивідуальні потреби хворого.

У комплексі з розвитком персоналізованої медицини та штучного інтелекту такі підходи сприятимуть появі інтелектуальних нанотерапевтичних систем нового покоління, що забезпечуватимуть цільову доставку, контрольовану дію та адаптацію до біологічних умов конкретного пацієнта, роблячи лікування більш ефективним, безпечним і точним [4]. Таким чином, застосування наноматеріалів у фармації виступає стратегічним напрямом розвитку сучасної фармацевтичної науки та практики, який забезпечує перехід до нового рівня терапевтичних технологій. Використання нанотехнологічних підходів дає змогу цілеспрямовано впливати на фармакокінетику та фармакодинаміку лікарських засобів, підвищуючи їх біодоступність, стабільність і терапевтичну ефективність, а також зменшуючи частоту та тяжкість побічних реакцій. Водночас широке впровадження таких технологій потребує розроблення єдиних стандартів якості, безпечності та ефективності нанопрепаратів, а також удосконалення нормативно-правової бази, що регулює їх обіг. Важливо забезпечити міждисциплінарну взаємодію між фармацевтами, біоінженерами, токсикологами, клініцистами та фахівцями з регуляторних питань.

Подальший розвиток нанофармації має ґрунтуватися на принципах доказової медицини, біоетики та сталого розвитку, а також на впровадженні персоналізованих терапевтичних стратегій, що враховують генетичні, метаболічні та фізіологічні особливості пацієнта. У перспективі такі підходи сприятимуть створенню безпечних, ефективних та індивідуалізованих лікарських засобів нового покоління, які зможуть значно підвищити якість життя пацієнтів та ефективність системи охорони здоров’я загалом.

1. Пилипчук Л. Л., Близнюк В. М. Наноматеріали в хімії та фармації. Харків: НФаУ. 2020.

2. Jadhav S.P. Nanotechnology in Pharmaceutical Science: A Concise Review. *Journal of Pharmaceutical Research & Education*. 2020. 5 (2).

3. Костюк В. А., Соловйова О. О. Нанотехнології у фармації та медицині. Харків: ХНФУ. 2019.

4. Пріськока А. О., Чекман І. С. Нанотехнології у розробці систем доставки лікарських засобів.*Український медичний часопис.* 2010. 1 (75). С.14-18.

5. Нанофармакологія: міждисциплінарний аспект наукових досліджень. *Український журнал сучасних проблем токсикології*. 2013. 1-2 (60-61).

СОРБЦІЯ ПАРАЦЕТАМОЛУ КАЛІЙ ТИТАНАТОМ

Порхун Крістіни Вадимівни,
здобувач вищої освіти ІІ курсу,kristinaporhun7@gmail.com
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Камінський Олександр Миколайович,
кандидат хімічних наук, доцент, alexkamin@ukr.net
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Денисюк Роман Олександрович,
кандидат хімічних наук, доцент, denisuknet@ukr.net
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Кучерук Сніжана Василівна
доктор філософії з галузі знань «Хімічна та біоінженерія», доцент snezhunka1107@gmail.com
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Ацетамінофен, або парацетамол, є одним з найбільш поширених анальгетиків у світі. Його використовують для зниження болю та температури при різних захворюваннях. Оскільки цей препарат часто доступний без рецепта, його широко застосовують для самолікування, що робить його популярним серед населення. Через надмірне використання парацетамолу його концентрація в стічних водах у багатьох країнах, таких як Іспанія, Франція, Великобританія, Китай і США, досягає рівня від 0,1 до 300 мг/л [1, 2].

На даний момент для очистки стічних від забруднення фармацевтичними компаніями частіше за все використовується метод біодеградації, седиментації, фотолізу та мембранні фільтри. Дана очистка не завжди ефективна для речовин з малою молекулярною масою, як в парацетамолу, що призводить до забруднення поверхневих вод та впливає на екосистеми. По цій причині дослідження можливості сорбції парацетамолу різними сорбентами має велику актуальність [3].

В даній роботі проведено дослідження сорбційних властивостей калій титанату по відношенню до водних розчинів парацетамолу.

Для визначення оптимального часу процесу сорбції побудовано залежність ступеня вилучення парацетамолу від часу контакту з калій титанатом, в якості сорбенту. На рис.1 представлено часова залежність ступеня вилучення парацетамолу.

Із залежності видно, що вилучення парацетамолу з водних розчинів досягає 90% протягом перших 50 хвилин сорбції в статичному режимі.

На рис.2 зображено залежність ступеня вилучення парацетамолу від його концентрації у водному розчині. Встановлено, що за 60 хвилинного контакту, з ростом початкової концентрації парацетамолу, спостерігається насичення сорбенту препаратом. При початковій концентрації 5 г/л ступінь вилучення становить 97,4%, а при концентрації – 25 г/л – 84,8%.

Кількість адсорбованого парацетамолу на одиницю маси сорбенту (0,1 г) зростає разом з концентрацією, але відносний відсоток видалення знижується тобто відсоток вилучення залишається досить високим, проте сорбенту стає не достатньо для ефективного повного вилучення препарату.

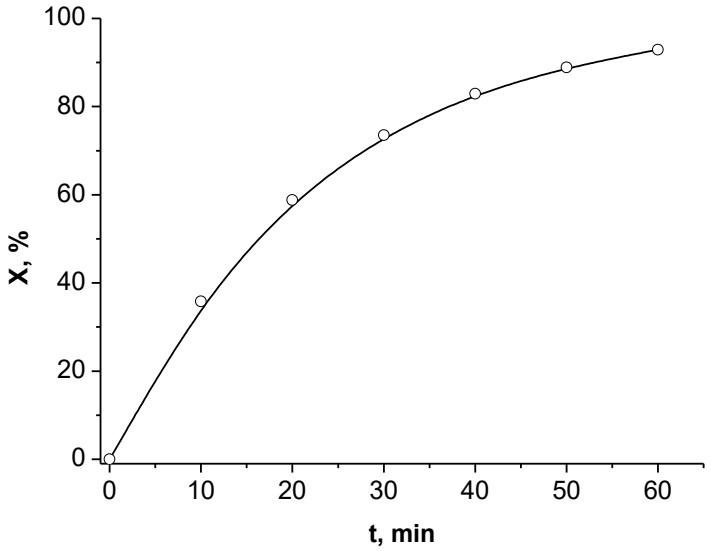


Рис. 1 Залежність ступеня вилучення парацетамолу (у %) від часу контакту з сорбентом (V = 100 мл, С (парацетамолу) = 10 г/л, m(K_2TiO_3) = 0,1 г)

В результаті аналізу отриманих даних було з'ясовано, що адсорбція парацетамолу з водного розчину калій титанатом лінійно залежить як від концентрації так і від часу контакту і показує досить хороші результати.

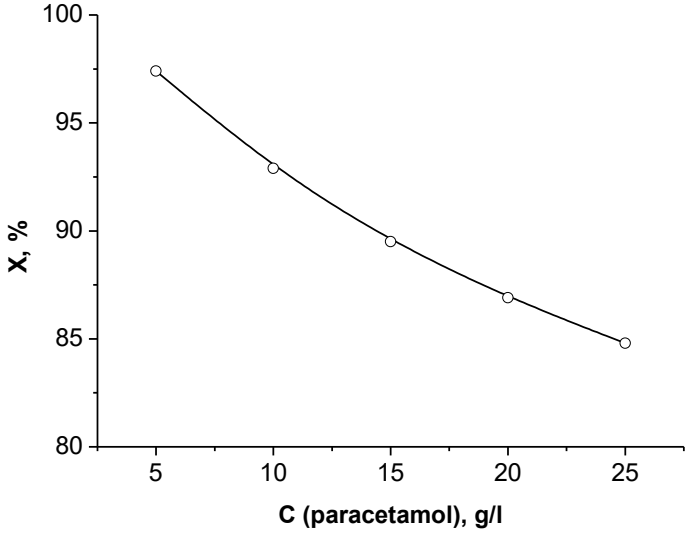


Рис. 2 Залежність ступеня вилучення парацетамолу (у %) від його концентрації (V = 100 мл, t= 60 хв, m(K_2TiO_3) = 0,1 г)

Експериментальні дані свідчать про перспективність подальших досліджень з метою застосування синтезованого калій титанату як хорошого адсорбенту для видалення залишків парацетамолу з природних вод.

1. Tran N. H., Reinhard M., & Gin, K. Y. Occurrence and removal of emerging contaminants in wastewater treatment plants. *Environmental Science and Pollution Research*. 2018.

2. K'oreje K. O. et al. Occurrence patterns of pharmaceutical residues in wastewater, surface water and groundwater of Nairobi and Kisumu city, Kenya. *Chemosphere*. 2016. V. 149. P. 238–244. URL: https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2016.01.095

3. Nunes B.et al. Toxic potential of paracetamol to freshwater organisms: a headache to environmental regulators? *Ecotoxicology and environmental safety*. 2014. Vol. 107. P. 178–185. URL: https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2014.05.027

ФІЗИКО- ХІМІЧНІ МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ ЯКОСТІ МЕДУ

Присяжнюк Аліна Олександрівна
здобувач вищої освіти IV курсу, alinaprisaznuk12@gmail.com
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Євдоченко Олена Сергіївна
доктор філософії з галузі знань 01 Освіта/ Педагогіка, доцент, lusichemis@gmail.com
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Нині на прилавках магазинів можна побачити велику кількість різних сортів меду, які відрізняються між собою виробником, зовнішнім виглядом, ціною та смаком. Ця різноманітність, хоч і задовольняє споживчий попит, створює високий ризик появи на ринку фальсифікованих та неякісних товарів. Фальсифікація може включати:

1. Додавання цукрових сиропів (наприклад, кукурудзяного, рисового) або інвертного цукру.
2. Змішування дешевого меду з більш дорогими сортами.
3. Збір незрілого меду з високою вологістю, що призводить до бродіння.
4. Термічна обробка (нагрівання) для запобігання кристалізації або розплавлення старого меду, що знижує його біологічну цінність.

Тому критично важливо досліджувати, покращувати старі та розробляти нові, швидкі та високочутливі методи дослідження якості меду, здатні виявляти навіть приховані види шахрайства.

Якість меду визначається комплексним аналізом його властивостей, які умовно поділяють на кілька груп: фізичні, хімічні, фізико-хімічні[1, 3]. Характеристики показників наведено в таблиці 1.

Таблиця 1. Показники властивостей меду

Тип властивостей	**Ключові показники**	**Значення для оцінки**
Фізичні (Органолептичні)	Консистенція, смак, колір, запах, прозорість	Первинна оцінка товарного вигляду та ботанічного походження (наприклад, колір гречаного vs акацієвого меду). Прозорість свідчить про чистоту та відсутність/наявність кристалізації.
Хімічні	Вміст вуглеводів (фруктоза, глюкоза, сахароза), органічних кислот, ферментів (діастаза), білків, вітамінів, мінералів	Визначають харчову та біологічну цінність. Співвідношення цукрів є ключовим маркером натуральності та схильності до кристалізації.
Фізико-Хімічні	Вологість, електропровідність, pH, гідроксиметилфурфурол (ГМФ)	Є нормативними критеріями якості. Вологість вказує на зрілість; ГМФ – на термічну обробку та свіжість; електропровідність – на ботанічне походження (квітковий чи падевий)

Згідно зі статтею [2] та міжнародними стандартами (наприклад, Кодекс Аліментаріус або директиви ЄС), показники якості меду суворо нормуються для забезпечення його безпеки та автентичності.

Вміст води (Вологість): Не більше 20%; у виняткових випадках (наприклад, у вересовому або пекарському меді) допускається не більше 23%. Висока вологість (понад норму) є основним показником незрілого меду та ризику бродіння.

Гідроксиметилфурфурол (ГМФ): Загальний вміст не більше 40 мг/кг. ГМФ є ключовим індикатором перегріву або тривалого/неналежного зберігання, оскільки він утворюється при розпаді фруктози в кислому середовищі.

Активність діастази (Діастазне число): Загальний показник не менше 8 за шкалою Шаде. Діастаза є одним з основних ферментів меду. Низьке діастазне число є доказом нагрівання або значного старіння меду.

Електропровідність: Використовується для розрізнення сортів. Наприклад, у падевому меді вона має бути не менше 0,8 мСм/см, тоді як у більшості квіткових сортів вона значно нижча.

Вільна кислотність: Загалом не більше 50 міліеквівалентів кислоти/1000 г. Надмірна кислотність може свідчити про початок бродіння.

Пролін: Не менше 25 мг/100 г. Пролін — основна амінокислота в меді, його вміст часто використовується як додатковий критерій зрілості та автентичності.

Для встановлення нормативних показників використовуються точні фізико-хімічні методи [3]:

Прозорість та колір: визначають пропусканням через мед світла певної довжини (спектрофотометричний аналіз). Колір класифікують за шкалою Pfund.

Водонерозчинні домішки: мед розчиняють у воді, фільтрують, фільтр з осадом висушують та зважують. Це дозволяє кількісно визначити механічні домішки (віск, частини тіла бджіл, ґрунт).

Вологість та вміст розчинених речовин: використовується рефрактометрія. Метод ґрунтується на вимірюванні показника заломлення світла, який безпосередньо залежить від вмісту води та сухих розчинених речовин (цукрів) у меді.

pH, зольність та електропровідність: такі багатофункціональні прилади, як MULTI 3320 (або аналогічні кондуктометри/pH-метри), допомагають одночасно встановити pH (показник кислотності) та електропровідність (пов'язана з вмістом мінералів та органічних кислот, використовується для класифікації меду).

Концентрація гідроксиметилфурфуролу (ГМФ): досліджується спектрофотометричним методом [3]. Інтенсивність поглинання світла розчином меду, що містить ГМФ, пропорційна його концентрації. Це один з найбільш поширених методів контролю термічного стану меду.

Якість меду встановлюється не за одним, а за комплексом фізико-хімічних показників. Використання сучасних інструментальних методів (хроматографія, спектрофотометрія, кондуктометрія) у поєднанні з органолептичною оцінкою дозволяє не лише підтвердити відповідність меду стандартам, але й ефективно виявляти фальсифікацію, забезпечуючи довіру споживачів.

1. Якісні характеристики меду, властивості меду бджолиного http://medova.poltava.ua/publ/vse_o_kachestve_meda/1-1-0-25

2. Modern Methods for Assessing the Quality of Bee Honey and Botanical Origin Identification PMCID: PMC7466300 PMID: 32751938

3. Assessing Honey Quality: A Focus on Some Physicochemical Parameters of Honey from Iasi County (Romania) by Aida Albu, Florin Dumitru Bora, Simona-Maria Cucu-Man, Vasile Stoleru, Cătălin-Emilian Nistor Ioan, Sebastian Brumă and Oana-Raluca Rusu https://doi.org/10.3390/agriculture15030333

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ЗАСОБІВ ДЛЯ ДОГЛЯДУ ЗА ШКІРОЮ ОБЛИЧЧЯ

Протасевич Яна Миколаївна
здобувач вищої освіти IV курсу, protasevichyana19@gmail.com
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Авдєєва Ольга Юріївна
доктор філософії, доцент кафедри хімії, avdeeva8909@gmail.com
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Надзвичайно важливу роль у житті сучасної людини, яка завжди стежить за своїм зовнішнім виглядом, здоров'ям і красою шкіри, відіграють доглядові засоби. Догляд за шкірою є вагомим не лише з естетичної точки зору, але й запорукою здоров'я, допомагаючи вирішити певні проблеми та покращити стан шкіри. Сучасна хімічна промисловість тісно пов'язана з виробництвом засобів догляду, які відрізняються складом, дією та призначенням. До них належать очищувальні, зволожувальні, живильні та захисні препарати, які виготовляються на основі різних хімічних сполук природного й синтетичного походження. Ці засоби використовують як для догляду за шкірою усього тіла в цілому, так і для догляду за шкірою обличчя. Виробництво косметичних засобів такого призначення сьогодні має досить великий попит на ринку косметичної продукції, збільшується кількість вітчизняних та закордонних виробників, розробляють нові види доглядових засобів, постійно вдосконалюючи їх склад та ефективність. Тому актуальним є розуміння хімічного складу цих засобів, що надає можливість правильно обирати продукцію відповідно до типу шкіри, а також оцінювати її безпечність та ефективність. Враховуючи це, важливо з хімічної точки зору охарактеризувати засоби догляду за шкірою.

У першу чергу, варто зазначити, що особливості засобів догляду за шкірою розглядаються у контексті косметичної хімії. Відповідно до цього розрізняють вивчення складу косметичних засобів, їх властивостей, особливості взаємодії зі шкірою, виготовлення косметичних засобів або засобів гігієни з екологічно чистих речовин. Косметичні засоби містять чимало корисних речовин, таких як антиоксиданти, зволожувачі, мінерали та вітаміни, які використовують для того, щоб покращити структуру шкіри, боротись зі зморшками та подразненнями. Крім того, розробка та виробництво косметичної продукції потребує великого досвіду та наукового підходу. Відповідно, хіміки працюють над тим, щоб створити оптимальні формули, над вибором та комбінацією активних інгредієнтів. Окрім цього, проводять тестування, визначаючи безпеку та ефективність косметичних засобів. Також хімія косметики пов'язана з визначенням того, які саме хімічні сполуки використовують для виробництва засобів догляду за шкірою та інших косметичних засобів, модифікацією таких сполук, покращуючи їх розчинність, стабільність чи адгезію до шкіри. Від того, які саме хімічні сполуки використовують при виробництві, багато в чому залежить те, як саме засіб буде впливати на шкіру та які властивості він буде мати [1].

Серед основних категорій засобів догляду за шкірою обличчя, які сьогодні виробляють вітчизняні та закордонні компанії, зазначимо наступні [2; 3]:

- *очищувальні засоби* – призначені для видалення з поверхні шкіри різних забруднень – пилу, надлишків шкірного жиру, залишків косметики тощо. До них належать гелі, пінки, міцелярна вода, тоніки чи молочко для обличчя. В основі таких засобів представлені поверхнево-активні речовини (ПАР), завдяки використанню яких вдається забезпечити безпосередньо очищення шкіри. Окрім цього, використовують компоненти, які пом'якшують та заспокоюють шкіру, зокрема – пантенол, алантоїн, екстракти таких рослин, як ромашка або алое. Багато в чому якість очищувального засобу залежить від того, наскільки збалансованим є його склад, оскільки надмірна кількість агресивних ПАР може стати причиною пересушування шкіри або її подразнення;

- *зволожувальні засоби* – такі засоби спрямовані на те, щоб підтримати оптимальний рівень вологи у клітинах шкіри, тому мають відповідний склад та форму. До складу зволожувальних засобів, які використовують для догляду за шкірою, входять гліцерин, гіалуронова кислота, сечовина, полімери. Хімічні властивості таких речовин надають можливість утримати вологу. Крім того, до складу зволожувальних засобів входять полімери, які на поверхні шкіри формують захисну плівку. Завдяки цьому зволожувальні креми, флюїди або сироватки запобігають передчасному старінню та підтримують еластичність шкіри;
- *живильні засоби* – характеризуються високою концентрацією біологічно активних речовин. Зазвичай це вітаміни (А, Е, С, групи В), мінерали, рослинні олії, амінокислоти, білкові сполуки та ін. За рахунок свого складу такі засоби догляду за шкірою покращують обмін речовин у її клітинах, також стимулюють процеси регенерації та надають шкірі більш здорового вигляду. Зазвичай вони мають більш густу консистенцією порівняно з іншими засобами, також застосовуються переважно ввечері, оскільки у цей час шкіра активно відновлюється;
- *захисні засоби* – їх створюють для того, щоб сформувати бар'єр між шкірою та зовнішнім середовищем. Серед них варто виокремити такі засоби, як креми з ультрафіолетовими фільтрами (SPF), засоби, які мають у своєму складі антиоксиданти та захисні масла, що запобігають впливу сонячного випромінювання, вітру, морозу чи забрудненого повітря. Також у складі таких засобів догляду нерідко присутні оксид цинку, діоксид титану, натуральні воски, завдяки яким посилюються захисні властивості.

Важливо звернути увагу на те, що засоби догляду за шкірою відрізняються і за типом шкіри, для якої вони створені. Так, для жирної шкіри у формули додають речовини, які регулюють виділення шкірного сала, наприклад, ніацинамід або кислоти (саліцилова, гліколева). Для сухої шкіри компоненти мають виражені зволожувані та пом'якшувальні властивостями, зокрема це гліцерин, кераміди, натуральні олії. Засоби для чутливої шкіри містять мінімальну кількість ароматизаторів та барвників, адже такі речовини дуже часто стають причиною виникнення алергічних реакцій або подразнення. Важливими є також антивікові засоби, які створюють із використанням активних сполук, що впливають на процеси клітинного оновлення. У таких формулах часто застосовують ретиноїди, пептиди, коензим Q10, а також гіалуронову кислоту, яка допомагає зберігати пружність шкіри. Окрім цього, засоби для догляду за шкірою обличчя містять допоміжні речовини, такі як емульгатори, стабілізатори, консерванти та ароматизатори. Крім того, важливим аспектом сучасного виробництва доглядових засобів є заміна синтетичних компонентів на натуральні, приділення усе більшої уваги екологічності та безпечності складу. Зокрема, усе більш активно впроваджуються технології створення засобів із натуральними компонентами, які мають біорозкладну основу і не містять шкідливих домішок [3].

В цілому, протягом останніх років виробництво засобів догляду за шкірою активно вдосконалюється. Зберігаються традиційні типи засобів залежно від їх функціонального призначення, однак вдосконалюються хімічний склад та властивості. Створення таких засобів є результатом складних хімічних процесів і досліджень. Вони поєднують досягнення сучасної науки з практичними потребами людини, дозволяючи не лише підтримувати естетичний вигляд, а й забезпечувати здоров'я шкіри. Узагальнюючи, варто підкреслити, що дуже важливим є розуміння хімічних властивостей та складу засобів для догляду за шкірою, оскільки від цього залежить їх ефективність та безпека для шкіри, а також в цілому здоров'я людини. тому це питання є важливим для дослідження і з наукової, і практичної точки зору.

1. Склярова А., Шпирка З. Хімія косметики. URL: https://evnuir.vnu.edu.ua/bitstream/123456789/22476/1/164-166.pdf
2. Пилипенко Т. М., Єфімова В. Г., Денисюк І. В. Дослідження фізико-хімічних характеристик косметичних рідин для обличчя. Вчені записки ТНУ імені В. І. Вернадського. 2019. №4. Ч. 2. Т. 30 (69). С. 67-71.
3. Косметичний склад: які бувають інгредієнти, які вибрати, а яких уникати. URL: https://tsn.ua/lady/krasota/kosmetologiya/kosmetichniy-sklad-yaki-buvayut-ingrediyenti-yak-vibrati-a-yakih-unikati-1971892.html

ПРИГОТУВАННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ ГЛАЗУРОВАНИХ СИРКІВ

Рацук Катерина Сергіївна,
здобувач вищої освіти ІІ курсу, racuk2000@icloud.com
Херсонський національний технічний університет, Україна

Рацук Марія Євгенівна,
кандидат технічних наук, доцент, mr0581@ukr.net
Херсонський національний технічний університет, Україна

Глазуровані сирки належать до категорії високоякісних молочних продуктів та можуть розглядатися як раціональна альтернатива традиційним кондитерським виробам, зокрема шоколадним цукеркам, тістечкам та іншим продуктам із підвищеним вмістом цукрів і жирів. Завдяки збалансованому хімічному складу цей продукт доцільно включати до раціону осіб, які дотримуються принципів дієтичного або здорового харчування.

За всі корисні властивості, якими славиться глазурований сирок, він зобов'язаний сиру. Саме сирна маса становить основну частину десерту. У сирі міститься необхідний для кісткової тканини кальцій, також він багатий вітамінами (А, Е і С, також вітаміни групи В), амінокислотами (лізин, триптофан, метіонін) і мінеральними речовинами (калій, магній, фосфор, натрій, залізо). Шоколадна глазур в свою чергу теж не просто смачний, але й стимулюючий роботу мозку, а також поліпшуючий настрій інгредієнт [1].

Зважаючи на те, що глазуровані сирки користуються великою популярністю у споживачів, підвищення їх харчової цінності та надання функціональних властивостей цим харчовим продуктам є актуальним і доцільним у наш час.

В роботі для підвищення харчової та біологічної цінності глазурованих сирків до їх складу додавали джеми з апельсину та обліпихи. Ці наповнювачі відрізняються широким спектром корисних властивостей. Користь обліпихи полягає в основному у природних джерелах вітаміну С, який відіграє ключову роль у зміцненні імунної системи, забезпечуючи захист організму від інфекцій та вірусів. Також вітамін С стимулює вироблення колагену – білка, який підтримує еластичність шкіри, міцність судин та суглобів. Вітаміни А і Е, що містяться в обліписі, сприяють нейтралізації вільних радикалів. Апельсини знижують ризик цукрового діабету, захворювань серця та судин, артриту, хвороби Альцгеймера. Також апельсини можуть бути корисними при подагрі, оскільки допомагають зменшити рівень сечової кислоти в крові. Клітковина, що міститься в апельсинах, підтримує нормальне травлення і сприяє детоксикації, знижуючи навантаження на печінку і підтримуючи її здоров'я.

Визначено співвідношення наповнювачів, яке забезпечує оптимальні смакові характеристики одержаного продукту: апельсинового джему варто додавати у 2,5 разів більше, ніж обліпихового. Загалом додавання наповнювача «Апельсин-Обліпиха» не ускладнює технологічний процес приготування глазурованих сирків, одержаний продукт має приємний кисло-молочний смак із присмаком обліпихи та апельсину та підвищену користь, яку забезпечують додані наповнювачі.

1. Чи шкідливі глазуровані сирки [Електронний ресурс]. URL: https://agrointer.com.ua/vredny-li-glazirovannye-syrki/

2. Сирки глазуровані: в чому їхня користь та як правильно вибрати [Електронний ресурс]. URL: https://vitatv.com.ua/novyny-kompaniy/syrky-hlazurovani-v-chomu-yikhnya

МЕТОДИ ВИЗНАЧЕННЯ БЕНЗОАТІВ У ПРОДУКТАХ ХАРЧУВАННЯ

Романчук Михайло Вікторович
здобувач вищої освіти ІІІ курсу, chem@ukr.net
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Євдоченко Олена Сергіївна
доктор філософії з галузі знань 01 Освіта/ Педагогіка, доцент, lusichemis@gmail.com
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Консерванти – це харчові добавки (зазвичай з індексом Е200–Е299), основне призначення яких полягає у пригніченні життєдіяльності мікроорганізмів (бактерій, дріжджів, плісняви). Їхнє використання критично важливе для подовження терміну придатності продуктів, забезпечення їхньої мікробіологічної безпеки та зменшення економічних втрат від псування. Вони дозволяють транспортувати продукти на великі відстані та зберігати їх тривалий час.

Розрізняють природні (сіль, цукор, оцет, деякі спеції) та синтетичні консерванти (наприклад, сорбати, бензоати, сульфіти) [1].

Консерванти зберігають первісну якість продукту, запобігаючи руйнуванню структури, зміні кольору, смаку та запаху, спричиненому мікробіологічним псуванням. Деякі консерванти (наприклад, сульфіти – Е220-Е228) можуть надавати продукту специфічний присмак або запах. Хоча прямий вплив менший, ніж від термічної обробки, деякі консерванти можуть прискорювати руйнування вітамінів (наприклад, вітаміну В1 під дією сульфітів).

Усі дозволені консерванти проходять сувору токсикологічну оцінку та мають встановлену допустиму добову дозу (ДДД, ADI), яка вважається безпечною для людини протягом усього життя. Варто зазначити, що деякі синтетичні консерванти, наприклад, сульфіти (у вині, сухофруктах) та бензоати (Е210-Е219) можуть викликати алергію та астматичні напади, особливо у чутливих осіб. Деякі дослідження пов'язують певні консерванти (часто у поєднанні з барвниками) із синдромом дефіциту уваги та гіперактивності (СДУГ) у дітей. Крім того, при споживанні великої кількості продуктів, що містять однаковий консервант існує ризик перевищення ДДД. Дотримання нормативів використання консервантів (визначених у законодавстві України та ЄС) є обов'язковим.

Однією з найпоширеніших груп синтетичних консервантів, які використовуються в харчовій промисловості є бензоати.

Основним компонентом і активним антимікробним агентом бензоатів є бензойна кислота (Е210). Її солі – бензоат натрію (Е211), бензоат калію (Е212) та бензоат кальцію (Е213) використовуються для кращої розчинності у воді, оскільки вони є більш стабільними [1].

Бензойна кислота діє як фунгіцид і бактеріостатик. Її ефективність є pH-залежною: вона проникає в клітини мікроорганізмів (дріжджів, плісняви та деяких бактерій) у недисоційованій (неіонізованій) формі. Бензоати найбільш ефективні в кислому середовищі (pH < 4,5), що робить їх ідеальними для консервування напоїв, маринадів та фруктових продуктів.

Завдяки своїй високій ефективності при низькій вартості бензоати широко застосовуються в газованих напоях, фруктових соках та нектарах, енергетичних напоях, фруктових консервах, джемах, мармеладах, соліннях (огірки та томати), соусах та приправах, маргарині та деяких видах сирів тощо.

В організмі людини бензойна кислота швидко метаболізується в печінці, де вона кон'югується з гліцином, утворюючи гіпурову кислоту, яка потім швидко виводиться з сечею. Це забезпечує її низьку гостру токсичність. Допустима добова доза (ДДД, ADI) для бензойної кислоти та її солей встановлена на рівні 5 мг/кг маси тіла на день. Основний ризик пов'язаний з реакціями гіперчутливості, адже бензоати можуть викликати алергічні реакції (кропив'янка, ангіоневротичний набряк), загострення астми у чутливих осіб [2].

Найбільш серйозною проблемою застосування бензоатів є можливість утворення бензолу (відомого канцерогену) в напоях. Це відбувається, коли бензоати вступають у реакцію з аскорбіновою кислотою (вітамін С) та іонами металів під впливом світла та тепла. Виробники вживають заходів для мінімізації цього ризику, наприклад, контролюючи рівень вітаміну С та умови зберігання.

Через зростаючу обізнаність споживачів щодо алергічних ризиків та ризику утворення бензолу, харчова промисловість має тенденцію до скорочення або повного виключення бензоатів, особливо у продуктах для дітей. Їх замінюють сорбатами (Е200–Е203) або іншими природними консервантами.

Високоефективним методом визначення бензоатів у продуктах харчування є рідинна хроматографія (ВЕРХ / HPLC). Цей метод базується на розділенні компонентів проби на нерухомій фазі (як правило, силікагель з хімічно модифікованою поверхнею) під дією рухомої фази (елюенту). Бензоати розділяються від інших компонентів (цукрів, кислот, барвників) за рахунок різної взаємодії з фазами. Зазвичай використовується УФ-детектор (на довжині хвилі близько 230–280 нм), оскільки бензойна кислота має сильне поглинання в ультрафіолетовій області. Переваги методу полягають у високій точності і чутливості та можливості одночасного визначати декілька консервантів (наприклад, сорбатів, парабенів) в одній пробі.

Спектрофотометрія є простішим і швидшим методом, часто використовується для скринінгових (первинних) вимірювань, хоча є менш специфічною, ніж ВЕРХ. Метод базується на вимірюванні поглинання світла розчином проби на певній довжині хвилі. Бензойна кислота поглинає світло в УФ-діапазоні. Після екстракції консервант може бути визначений прямо або після кольорової реакції (наприклад, реакції з хлоридом заліза), що підвищує чутливість у видимій області спектра. Спектрофотометрії заважають інші компоненти матриці (наприклад, деякі барвники або ароматизатори), які також поглинають світло на тій самій довжині хвилі, що знижує селективність методу [3].

Газова хроматографія менш поширена для визначення бензоатів, оскільки бензойна кислота є порівняно леткою лише після етерифікації (переведення її в естер), що робить підготовку проби більш складною. Використовується переважно у поєднанні з мас-спектрометрією (ГХ-МС) для підтвердження ідентичності та високоточного кількісного аналізу. Висока специфічність ГХ-МС дозволяє ідентифікувати консерванти навіть у мізерних кількостях [1].

Капілярний Електрофорез (КЕ) – це сучасний інструментальний метод, який стає все більш популярним завдяки своїй ефективності та "зеленому" підходу (менше використання реагентів). Розділення компонентів відбувається у вузькому капілярі під дією електричного поля. Бензоати як іонізовані молекули мігрують з різною швидкістю. Перевагами методу є висока роздільна здатність, швидкість аналізу та можливість одночасного визначення інших органічних кислот та консервантів [3].

1. ДСТУ 5050:2008. Продукти харчові. Визначання підсолоджувачів, консервантів та кофеїну методом високоефективної рідинної хроматографії. Київ: Держспоживстандарт України, 2009. 12 с. (Національний стандарт України).

2. Консерванти у харчових продуктах: застосування та безпека. Integra. URL: https://integra-company.com/blog/konservanty-u-harchovykh-produktakh/ (дата звернення: 08.11.2025).

3. Feng J., Wang F., Li S., Zhao S., & Li F. Green methods for the extraction and analysis of natural food preservatives: A review. *Food Chemistry*. 2020. 328, 127092.

4. Mondello F., Crisafulli P., & Di Pasquale R. Risk assessment of food additives: current approaches and future trends. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2021. 61(10), 1618–1634.

ФОТОКАТАЛІЗ ХАРЧОВИХ БАРВНИКІВ

Руденко Анастасія Борисівна,
здобувач першого (бакалаврського) рівня вищої освіти ІІІ курсу chem@ukr.net
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Камінський Олександр Миколайович,
кандидат хімічних наук, доцент, alexkamin@ukr.net
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Кичкирук Ольга Юріївна,
кандидат хімічних наук, доцент, chem@ukr.net
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Чайка Микола Володимирович,
кандидат хімічних наук, доцент, chem@ukr.net
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Євдоченко Олена Сергіївна,
доктор філософії з галузі знань 01 Освіта/Педагогіка,
доцент кафедри хімії, chem@ukr.net
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Кучерук Сніжана Василівна,
доктор філософії з галузі знань Хімічна та біоінженерія, доцент кафедри хімії,
snezhunka1107@gmail.com
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Фотокаталіз – це процес, у якому світлова енергія (ультрафіолетова або видима) використовується для активації каталізатора, що прискорює хімічну реакцію без власного споживання. У контексті екології та нанотехнологій фотокаталіз часто застосовується для руйнування (деградації) органічних барвників – шкідливих речовин, які потрапляють у воду з текстильних, паперових, фармацевтичних та інших виробництв. Фотокаталіз вважається одним із найефективніших методів очищення стічних вод від токсичних органічних забруднень.

Метою даної роботи є: провести порівняльний аналіз фотокаталітичної активності феритових матеріалів щодо барвника кристалічного фіолетового.

У роботі використано установку для фотокаталізу, схема якої описана в [1].

Для порівняння фотокаталітичної активності використано цинковий та нікелевий ферити, синтезовані золь-гель цитратним методом за подібною методикою, описаною в [2-3].

Відважували по 0,05 г каталізаторів та додавали до них по 20 мл розчину кристалічного фіолетового (C_0 = 6 мг/л). Суміш опромінювали УФ лампою протягом 10 хвилин без перемішування. Оптичну густину барвника до та після фотокаталізу визначали фотометрично за допомогою КФК-2 за довжини хвилі 540 нм. Рідиною для порівняння слугувала дистильована вода.

На рис. 1 показано діаграму залежності оптичної густини розчину барвника після фотокаталізу від природи каталізатора.

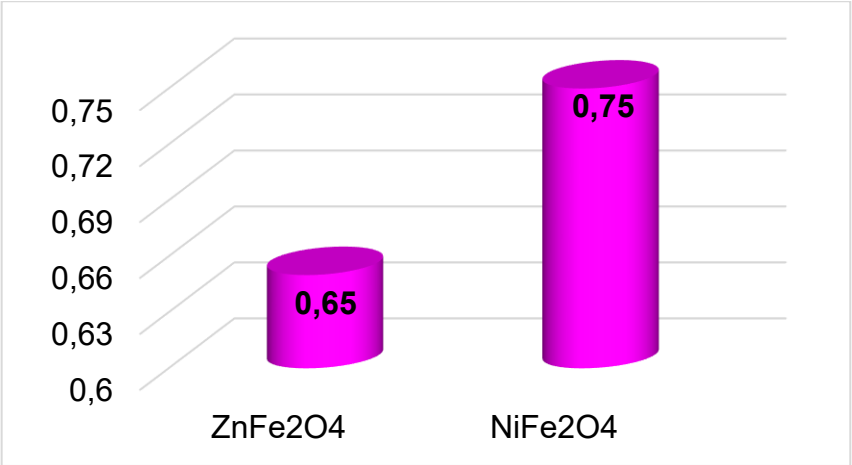


Рис. 1. Діаграма залежності оптичної густини розчину барвника після фотокаталізу від природи каталізатора

Встановлено, що цинковий ферит є кращим каталізатором фотодеструкції барвника кристалічного фіолетового, у порівнянні з нікелевим феритом, що ймовірно пов'язано з особливістю електронних переходів у структурах феритів.

1. Pysarenko S., Kaminskyi O., Chyhyrynets O., Denysiuk R., Chernenko V. Photocatalytic destruction and adsorptive processes of methylene blue by potassium titanate. *Materials Today: Proceedings*. 2022. Vol. 62 (15). P. 7754-7758. https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.05.476

2. Бушкова В. С., Остафійчук Б. К., Копаєв О.В. Особливості синтезу складних оксидних систем з використанням ЗГА-методу. *Фізика і хімія твердого тіла*. 2013. Т. 15, №1 (2014). С. 182-185.

3. Остафійчук Б. К., Бушкова В. С., Мокляк В. В., Ільницький Р. В. Синтез та магнітна мікроструктура наночастинок магнієвих феритів, заміщених цинком. *Укр. фіз. журн*. 2015. Т. 60, № 12. С. 1236-1244

РОЛЬ КИСЛОТ У КОСМЕТИЧНОМУ ДОГЛЯДІ ЗА ШКІРОЮ

Свінціцька Анна Сергіївна,
здобувач вищої освіти IV курсу, talkoanna2015@gmail.com
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Авдєєва Ольга Юріївна,
доктор філософії, доцент кафедри хімії, avdeeva8909@gmail.com
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Догляд за шкірою обличчя та тіла попереджає старіння та дозволяє зберегти молодість якомога довше. На сьогодні існує багато як косметичних, так і медикаментозних засобів, призначених для вирішення саме цього питання. Часто основою подібних косметичних продуктів є кислоти. Тому існують різні дослідження щодо їх ефективності, ролі та впливу на шкіру. Найвідомішими кислотами в сфері косметики є AHA – альфа-гідроксикислоти, BHA – бета-гідроксикислоти, PHA – полігідроксикислоти, та інші (наприклад, аргінінова, азелаїнова, гіалуронова кислоти). Дослідження властивостей кислот у косметології є актуальним напрямом сучасної дерматохімії, що поєднує елементи косметології, біохімії та фармакології.

AHA включають гліколеву, молочну, яблучну, винну, лимонну кислоти та інші, які часто використовуються в косметичних засобах. При вищій концентрації AHA кислоти порушують когезію корнеоцитів, що шкодить шкірі, а при нижчих, навпаки, виявляють терапевтичну та косметичну дію для застосування у вигляді фізичного та імунологічного захисту від шкідливих зовнішніх факторів (УФ-випромінювання) та задля запобігання пошкодженню ДНК [1]. Гліколева кислота, наприклад, зменшує інтенсивність пігментації, допомагає зменшити прояви акне. Молочна кислота зменшує кількість зморшок, покращує текстуру шкіри. Лимонну кислоту використовують для висвітлення ділянок післязапальної гіперпігментації [2]. В загальному, альфа-гідроксикислоти корисні для шкіри в широкому спектрі різних проблем, але лише в певних концентраціях.

На відміну від AHA кислот, BHA – бета-гідроксикислоти мають ліпідну основу і можуть проникати в шкіру через фолікули. Тому вони часто є основою засобів для догляду за жирною шкірою. Агресивна дія бета-гідроксикислот також залежить від її концентрації в косметичному продукті. Найвідомішим представником є саліцилова кислота, що допомагає у лікуванні шкірних захворювань та є ефективною в пілінгу, особливо через здатність абсорбувати жири. Проте від її використання також існує багато побічних ефектів, таких як тривала еритема, сухість, сильне відлущування, тимчасове утворення кірочок, гіпопігментація, системна токсичність, саліцилізм, гіпоглікемія та контактна сенсибілізація [3].

Полігідроксикислоти (PHA) відомі м’якшою дією порівняно з AHA та BHA завдяки великому молекулярному розміру, через який вони не так сильно проникають в шкіру і здатні на неподразнюючий пілінг. Їх використання є хорошим варіантом для людей з підвищеною чутливістю до інших кислот або людей з окремими випадками несприйняття AHA або BHA. Відомим прикладом PHA є глюконолактон, який метаболізується в AHA, тому має схожі властивості, але також додатково діє як хороший зволожувач та антиоксидант [4]. Окрім цього, він покращує бар’єрний захист рогового шару, надаючи шкірі гладенького вигляду. Загалом PHA покращують ліпідний метаболізм, зв’язують воду, знижують pH шкіри, що запобігає розвитку патогенної флори [5]. Але полігідроксикислоти, так само як інші кислоти, можуть бути небезпечними якщо використовувати їх у високих концентраціях.

Гіалуронова кислота (HA) знаходиться в різних тканинах людського організму і відіграє важливу роль: підтримує гідратацію, міжклітинний зв’язок та структурну організацію. Окрім цього, HA є центральним учасником гомеостазу, допомагає у загоєнні ран, ремоделює позаклітинний матрикс. Ця кислота широко застосовується у клініці та косметиці для лікування різноманітних захворювань шкіри [6]. Користь гіалуронової кислоти активно

досліджується, що однозначно вплине на її використання в дерматології в подальших дослідженнях.

Отже, кислоти часто використовуються в косметичних і терапевтичних засобах для лікування та догляду за шкірою. Їх вплив може мати різний характер залежно від різних чинників: концентрації, особистої чутливості, проникної здатності. Відомі представники, такі як гліколева, саліцилова, гіалуронова кислоти, а також глюконолактон, широко використовуються в дерматології для покращення стану шкіри, поліпшення її захисної функції, очищення та живлення. Саме тому роль кислот у косметичних засобах є вагомою, а їх вплив значимим і корисним.

1. Sheau-Chung Tang, Jen-Hung Yang. Dual Effects of Alpha-Hydroxy Acids on the Skin. URL: https://www.mdpi.com/1420-3049/23/4/863 (дата звернення: 23.10.2025)

2. Kanwarpreet Karwal, Ilya Mukovozov. Topical AHA in Dermatology: Formulations, Mechanisms of Action, Efficacy, and Future Perspectives. URL: https://www.mdpi.com/2079-9284/10/5/131?utm_source (дата звернення: 23.10.2025)

3. Aira Faye C. Barote, Edelweise H. Genelsa, Jerome Alaba, Lourdes College, Hannah Mae U. Encendencia. *POTENTIAL TOXICITY OF ALPHA AND BETA HYDROXY ACIDS IN COSMETIC PRODUCTS: A REVIEW.* URL: https://www.researchgate.net/publication/361175033_POTENTIAL_TOXICITY_OF_ALPHA_AND_BETA_HYDROXY_ACIDS_IN_COSMETIC_PRODUCTS_A_REVIEW (дата звернення: 23.10.2025)

4. Savanna I. Vidal B. S., Nikita Menta B. A., Adam Friedman MD FAAD. Department of Dermatology, George Washington University School of Medicine and Health Sciences, Washington, DC. *All Things Acids: A Primer on Alpha Hydroxy, Beta Hydroxy, and Polyhydroxy Acids.* URL: https://jddonline.com/articles/all-things-acids-primer-on-alpha-hydroxy-beta-hydroxy-polyhydroxy-acids-S1545961625P0525X (дата звернення: 23.10.2025)

5. Sylwia Jarząbek-Perz MSc, Marta Dziedzic MSc, Helena Rotsztejn MD, Anna Kołodziejczak PhD. Evaluation of the effects of 10% and 30% gluconolactone chemical peel on sebum, pH, and TEWL. *Journal of Cosmetic Dermatology*, Volume 22, Issue 12. URL: https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/jocd.15864 (дата звернення: 23.10.2025)

6. Mehmet Uğur Karabat, Mehmet Cudi Tuncer. Effects of hyaluronic acid on skin at the cellular level: a systematic review. *National library of medicine*. URL: https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC12452154/?utm_source (дата звернення: 23.10.2025)

ФІЗИКО-ХІМІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ШАМПУНІВ ДЛЯ ВОЛОССЯ ПІСЛЯ КЕРАТИНОВОГО ВИРІВНЮВАННЯ

Севрук Євгенія Сергіївна,
здобувач вищої освіти IV курсу, zenasevruk39@gmail.com
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Авдєєва Ольга Юріївна
доктор філософії, доцент кафедри хімії, avdeeva8909@gmail.com
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Через зростання популярності кератинового вирівнювання волосся особливого значення набуває вибір засобів для щоденного догляду, насамперед шампунів. Процедура кератинування супроводжується впливом високої температури та хімічних агентів, що змінюють стан кутикули й кортикального шару волосини. Неправильно підібраний шампунь прискорює вимивання кератину, підвищує шорсткість поверхні, сприяє ламкості та втраті блиску волосся. Аналіз літературних джерел свідчить, що лужний pH та агресивні аніонні ПАР (SLS, SLES) посилюють тертя між волосками та пошкодження кутикули [1, 4].

Метою роботи є дослідження фізико-хімічних властивостей комерційних шампунів, що позиціонуються як засоби «для волосся після кератинового вирівнювання», у порівнянні зі звичайними сульфатвмісними шампунями, та оцінка їх потенційного впливу на збереження результату процедури й стан волосяного стрижня.

Об’єктом дослідження є серія безсульфатних шампунів для кератинованого волосся професійного та мас-маркет-сегментів, а також контрольні зразки класичних шампунів з аніонними ПАР.

Предмет дослідження – комплекс фізико-хімічних параметрів, що визначають м’якість очищення й сумісність формули з кератиновим покриттям: pH, в’язкість, піноутворювальна здатність, поверхневий натяг, масова частка сухого залишку, якісний і кількісний склад поверхнево-активних речовин, наявність хлориду натрію, кондиціонувальних полімерів і білкових добавок (гідролізованого кератину, протеїнів пшениці, сої тощо) [2; 3; 7].

Нами досліджено, що оптимальний pH шампунів для мінімізації ушкоджень кутикули має бути близьким до слабокислого (4,5–5,5), а підвищення pH понад 5,5 збільшує негативний заряд поверхні, сприяє набряканню волосся, росту тертя між волокнами та полегшує руйнування кутикули [1; 5; 6]. Дослідження структури волосся демонструють, що кондиціонувальний ефект залежить від адсорбції полімерів та ліпофільних компонентів на пошкоджених ділянках, товщини та водовмісності адсорбційних шарів [2; 8]. У шампунях для кератинованого волосся виробники переважно переходять до систем на основі м’яких ПАР (кокамідопропіл бетаїн, алкілполіглюкозиди, сульфосукцинати) та відмовляються від натрій хлориду, оскільки він здатний прискорювати руйнування й вимивання кератинового покриття [4; 5].

У ході дослідження припускається, що досліджувані безсульфатні шампуні для волосся після кератинового вирівнювання матимуть:

– pH у межах 4,5-5,5, що узгоджується з рекомендаціями трихологів і сучасними даними щодо впливу pH на стан волосся [1; 6];

– нижчий вміст класичних аніонних ПАР типу SLS/SLES або їх повну відсутність, заміну на м’які ПАР і амфотерні компоненти [3; 7];

– відсутність або мінімальну концентрацію NaCl;

– підвищену в’язкість і контрольований рівень піноутворення завдяки полімерним загусникам та асоціативним структурувальним агентам [3];

– наявність кондиціонувальних полімерів (кватернізовані целюлози, силікони) та білкових добавок (гідролізований кератин, еластин), що здатні частково компенсувати структурні дефекти волокна [2; 4].

Паралельні випробування зразків волосся після кератинового вирівнювання дозволять зіставити зміну маси, візуальних показників блиску, гладкості й ступеня сплутування після багаторазових циклів миття безсульфатними та сульфатвмісними шампунями. Очікується, що шампуні зі слабокислим pH, м'якими ПАР та відсутністю натрій хлориду забезпечать краще збереження блиску, зменшення пушіння й електризованості, а також більш тривалий ефект кератинового вирівнювання порівняно зі звичайними засобами очищення [4; 5; 8].

Практичне значення роботи полягає у формуванні науково обґрунтованих вимог до складу шампунів для волосся після кератинового вирівнювання (pH 4,5-5,5, м'які ПАР, відсутність NaCl, наявність кондиціонувальних полімерів і протеїнів), що може бути використано для розробки нових формул шампунів та для підготовки професійних рекомендацій майстрам перукарської справи й споживачам. Одержані результати доповнять сучасні уявлення про взаємозв'язок між фізико-хімічними параметрами шампунів і збереженням кератинового покриття на волоссі.

1. Dias M.F.R.G. et al. The Shampoo pH can Affect the Hair: Myth or Reality? *International Journal of Trichology*. 2014. Vol. 6, № 3. P. 95–99. URL: https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4158629/ PMC

2. Fernández-Peña L. Physicochemical Aspects of the Performance of Hair-Conditioning Formulations. *Cosmetics*. 2020. Vol. 7, № 2. Article 26. URL: https://www.mdpi.com/2079-9284/7/2/26 MDPI

3. Thompson C.J. Shampoo Science: A Review of the Physiochemical Processes behind the Function of a Shampoo. *Macromolecular Chemistry and Physics*. 2023. Vol. 224, Issue 3, Article 2200420. URL: https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/macp.202200420 Wiley Online Library

4. Dias M.F.R.G. et al. Hair Cosmetics: An Overview. *International Journal of Trichology*. 2015. Vol. 7, № 1. P. 2–15. URL: https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4387693/ PMC

5. Безсульфатні шампуні для волосся після кератинового вирівнювання. KeratinPro, 13.05.2024. URL: https://keratinpro.ua/bezsulfatni-shampuni-dlia-volossia-pislia-keratynovoho-vypriamlennia/ keratinpro.ua

6. Догляд за волоссям після кератину: основні поради та засоби. Raywell, 24.10.2024. URL: https://raywell.shop/blog/doglya-za-volossyam-pislya-keratina raywell.shop

7. Shampoo – an overview. *ScienceDirect Topics*. URL: https://www.sciencedirect.com/topics/chemistry/shampoo ScienceDirect

СТРУКТУРНІ ОСОБЛИВОСТІ ПАРАЦЕТАМОЛУ ТА РИЗИКИ ЙОГО ТОКСИЧНОСТІ ПРИ ПЕРЕДОЗУВАННІ

Севрук Євгенія Сергіївна,
здобувач вищої освіти IV курсу, zenasevruk39@gmail.com
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Свиридюк Катерина Петрівна
асистент кафедри хімії, svyrydiuk-k@zu.edu.ua
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Парацетамол (ацетамінофен, N-(4-гідроксифеніл)ацетамід) належить до ненаркотичних анальгетиків та антипіретиків і є одним із найбільш широко застосовуваних безрецептурних лікарських засобів у світі [2–4]. Його вважають відносно безпечним у терапевтичних дозах, однак, передозування парацетамолу є однією з провідних причин гострої медикаментозно-індукованої печінкової недостатності та частою підставою для проведення трансплантації печінки [2–4]. Поєднання високої доступності препарату та відносно вузького терапевтично-токсичного «вікна» зумовлює актуальність комплексного аналізу структурних особливостей його молекули та пов'язаних з ними механізмів токсичності при передозуванні [3, 4].

Молекула парацетамолу має формулу $C_8H_9NO_2$ і розглядається як похідна р-амінфенолу, в якій аміногрупа ацетильована з утворенням амідної функції (N-ацетил-р-амінфенол) [1]. У її складі наявні бензенове кільце, фенольна гідроксильна група та ацетамідний фрагмент, розташований у пара-положенні відносно –ОН-групи. Така будова забезпечує кон'югацію π-електронів ароматичного ядра з амідною групою, що стабілізує молекулу, впливає на її кислотно-основні властивості та визначає можливість утворення водневих зв'язків у кристалічному стані [1, 4].

Наявність фенольної гідроксильної групи зумовлює слабокислий характер парацетамолу та його обмежену розчинність у воді при кімнатній температурі, що має значення для розроблення лікарських форм і біодоступності [1]. Амідна група знижує реакційну здатність ароматичного кільця порівняно з вільними аніліновими похідними, що зменшує ризики метгемоглобіноутворення, характерні для більш токсичних попередників (фенацетину, ацетаніліду) [4].

Структурні особливості парацетамолу прямо пов'язані з його метаболізмом. У терапевтичних дозах близько 50–70 % дози зазнає глюкуронідування, а 25–35 % – сульфатування з утворенням водорозчинних нетоксичних кон'югатів, які виводяться нирками [2–4]. Невелика частка (приблизно 5–15 %) метаболізується в печінці з утворенням реакційно здатного метаболіту N-ацетил-р-бензохіноніміну (NAPQI) [2–4]. У нормальних умовах NAPQI швидко нейтралізується шляхом кон'югації з глутатіоном з подальшим утворенням цистеїнових і меркаптурових похідних, що виводяться із сечею [2, 3].

При передозуванні парацетамолу основні шляхи кон'югації (глюкуронідування й сульфатування) насичуються, і більша частка субстрату спрямовується по окисному шляху з утворенням надлишкової кількості NAPQI [2–5]. Запаси відновленого глутатіону у гепатоцитах швидко виснажуються, що перешкоджає детоксикації реакційно здатного метаболіту. NAPQI ковалентно зв'язується з білками, насамперед мітохондріальними, індукуючи оксидативний стрес, порушення синтезу АТФ, ліпопероксидацію, формування запальної відповіді та, зрештою, центролобулярний некроз печінки [3–5]. Ці процеси є ключовими ланками гепатотоксичності парацетамолу при передозуванні.

Структурна належність парацетамолу до похідних р-амінфенолу також пов'язана з можливістю утворення нефротоксичних метаболітів. Окиснення ароматичного кільця та подальші реакції кон'югації можуть приводити до накопичення реакційно здатних сполук у канальцевому епітелії нирок, що сприяє розвитку гострого тубулоінтерстиціального ураження

при тяжких отруєннях [4, 5].

На тлі передозування додаткове значення набувають фактори ризику, які змінюють співвідношення між детоксикаційними та токсичними шляхами метаболізму. Хронічне вживання алкоголю, білкове голодування, тривале недоїдання, супутні захворювання печінки, а також прийом деяких лікарських засобів підвищують активність окисного шляху й одночасно зменшують утворення глутатіону [2, 4, 5]. Це зумовлює виникнення токсичних ушкоджень навіть при дозах, близьких до верхньої межі терапевтичного діапазону, або при повторних «помірних» перевищеннях рекомендованих доз [3–5].

Огляд літературних джерел вказує на те, що парацетамол залишається одним із основних чинників гострого медикаментозного ураження печінки, але водночас – незамінним компонентом багатьох знеболювальних і протизастудних препаратів [3, 4]. Це підкреслює необхідність поглибленого вивчення структури молекули, виявлення структурних фрагментів, відповідальних за утворення реакційно здатних метаболітів, та пошуку можливостей модифікації молекули з метою зниження ризику токсичності при збереженні анальгетичної активності [3–5].

1. Acetaminophen | $C_8H_9NO_2$ | CID 1983. PubChem. Режим доступу: https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Acetaminophen (Дата звернення: 08.11.2025)

2. Agrawal S., Khazaeni B. Acetaminophen Toxicity. *StatPearls [Internet].* Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2023. Режим доступу: https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK441917/ (Дата звернення: 08.11.2025)

3. Chidiac A. S., Maassen P., et al. Paracetamol (acetaminophen) overdose and hepatotoxicity: mechanisms, clinical features and management. *Expert Opinion on Drug Safety.* 2023. Режим доступу: https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/17425255.2023.2223959 (Дата звернення: 08.11.2025)

4. Caragea G., Avram O., Pauna A., Costea A., Tudosie M. Acetaminophen, a Therapeutic or an Extremely Toxic Remedy—A Review. *Journal of Mind and Medical Sciences.* 2022; 9(1). Режим доступу: https://www.mdpi.com/2392-7674/9/1/9 (Дата звернення: 08.11.2025)

5. Beltrán-Olazábal A., et al. Management of acetaminophen toxicity, a review. 2019. Режим доступу: https://scielo.isciii.es/scielo.php?pid=S2695-50752019000100004&script=sci_arttext (Дата звернення: 08.11.2025)

ЕФЕКТ ЛОТОСА НАНОМАТЕРІАЛІВ

Сергійчук Олексій Олександрович
здобувач вищої освіти І курсу, oleksijsergijcuk57@gmail.com
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Кусяк Наталія Володимирівна
кандидат хімічних наук, доцент
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Супергідрофобність — це властивість поверхні твердого тіла проявляти практично повну незмочуваність рідиною, що зумовлено наноструктурованим мікрорельєфом матеріалу. Завдяки особливій наноморфології поверхні значно зменшується площа контакту між краплею рідини та твердим тілом, унаслідок чого вода не проникає в матеріал, а скочується з нього, видаляючи частинки пилу, органічні забруднення та мікроорганізми. У природі цей ефект уперше був помічений на листках лотоса. Дослідження, проведені В. Бартлоттом і К. Найнуїсом, показали, що така властивість зумовлена наявністю наноструктурованих воскових шипів на поверхні листка, що створюють повітряний прошарок між поверхнею і водою [1]. Це явище стало основою для синтезу супергідрофобних наноматеріалів.

На мікро- та нанорівні поверхня з ефектом лотоса має складну ієрархічну структуру, де поєднуються мікрорельєф (виступи або «шипи») та нанопокриття, яке змінює поверхневу енергію матеріалу. Крапля води, потрапляючи на таку поверхню, набуває майже ідеальної сферичної форми, контактуючи з нею менш ніж на 1 % своєї площі. Контактний кут у цьому випадку перевищує 150–170°, що відповідає супергідрофобному стану, тоді як повна змочуваність відповідає куту 0°. З хімічної точки зору ефект лотоса пояснюється комбінацією хімічної гідрофобності (наявність неполярних груп $-CH_3$, $-CF_2$, $-CF_3$) та наномасштабного текстурування поверхні, яке створює повітряні пастки між матеріалом і краплею. Саме ці два фактори (хімічна природа речовини та нанорельєф), забезпечують унікальні властивості самоочищення.

Сучасні нанотехнології дозволяють відтворювати природний лотос-ефект у штучних матеріалах. Основні підходи включають: нанесення супергідрофобних покриттів, що містять фторвуглецеві або кремнійорганічні сполуки; створення наноструктурованих поверхонь із мікро- і нановиступами, які імітують рельєф природних зразків; використання нановолоконних матеріалів, які утворюють пористу структуру, заповнену гідрофобною рідиною. Такі наноматеріали активно впроваджуються в будівництві, де вони використовуються для покриття фасадів, скла та бетону. Завдяки самоочищуванню й водовідштовхуванню забезпечується захист від корозії, цвілі, ерозії та руйнування в умовах підвищеної вологості. Крім того, застосування супергідрофобних покриттів зменшує витрати на очищення поверхонь і споживання води [2].

У нанохімії полімерів створюються матеріали, поверхня яких має властивість самоочищення і самовідновлення, що особливо важливо для лабораторної апаратури (піпетки, мірні колби, мікрореактори). У таких приладах забезпечується повне "виливання" рідини, без її залишків на стінках. Прикладом новітніх наноматеріалів є SLIPS (*Slippery Liquid-Infused Porous Surfaces*) — пористі структури, просочені спеціальною гідрофобною рідиною, які демонструють омніфобність (відштовхують не лише воду, а й органічні рідини, мастила, кров, нафту). Покриття SLIPS витримує тиск до 675 атм і зберігає властивості при екстремальних температурах, що робить його перспективним для оптичних, медичних і транспортних систем. Поверхні з кремнієвими наноголками товщиною близько 400 нм, які здатні змінювати змочуваність під дією електричного поля: при поданні напруги рідина миттєво скочується з поверхні.

Попри численні переваги, синтетичні супергідрофобні матеріали мають обмеження: вони менш ефективні для органічних рідин із низьким поверхневим натягом (олії, неполярні

розчинники), а також залишаються відносно дорогими у виробництві. Проте розвиток нанохімічних технологій відкриває шлях до створення універсальних нанопокриттів, здатних до самовідновлення, самоочищення та адаптації до умов навколишнього середовища. Такі матеріали мають потенціал революціонізувати енергетику, біомедицину, хімічне приладобудування та екологічно стійке будівництво.

1. Фармацевтична енциклопедія. веб-сайт. URL: https://www.pharmencyclopedia.com.ua/article/6658/supergidrofobnist

2. Гальченко В. Про «Ефект лотоса» та крайовий кут змочування. Матеріали VII Всеукраїнської студентської науково-технічної конференції «Природничі та гуманітарні науки. Актуальні питання» / В 2 т. Тернопіль: ТНТУ ім. І.Пулюя (м. Тернопіль, 24-25 квітня 2014 р.), 2014. Т. 1. 263 с. С.196.

ФОРМУВАННЯ МІКРОСТРУКТУРИ ПОВЕРХНІ НАПІВПРОВІДНИХ МАТЕРІАЛІВ У ПРОЦЕСІ ХІМІЧНОЇ ОБРОБКИ

Сергійчук Олексій Олександрович
здобувач 1 курсу другого (магістерського) рівня вищої освіти, oleksijsergijcuk57@gmail.com
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Чайка Микола Володимирович,
кандидат хімічних наук, доцент кафедри хімії, laridae92@gmail.com
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Денисюк Роман Олександрович,
кандидат хімічних наук, доцент кафедри хімії, denisuknet@ukr.net
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Свиридюк Катерина Петрівна,
кандидат хімічних наук, доцент кафедри хімії, svyrydiuk-k@zu.edu.ua
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Чумак Володимир Валентинович,
кандидат хімічних наук, доцент кафедри хімії, chumak@zu.edu.ua
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Формування мікроструктури поверхні напівпровідникових матеріалів є одним із визначальних етапів сучасних технологій мікро- та наноелектроніки. Морфологічні особливості поверхні істотно впливають на електрофізичні, оптичні, адгезійні та інші функціональні характеристики елементів мікроелектронних приладів – транзисторів, сенсорів, фотонних структур і сонячних елементів. Застосування хімічних методів обробки дає можливість цілеспрямовано модифікувати топографію поверхні на мікро- та нанорівнях, забезпечуючи покращення її експлуатаційних властивостей.

Зокрема, хімічна обробка дозволяє не лише видаляти дефектний або пошкоджений шар поверхні, але й формувати керовані мікрорельєфи (мікропіраміди, мікроканавки, текстуровані «ямки травлення»), які можуть позитивно впливати на фізико-хімічні властивості напівпровідникових матеріалів. У поєднанні з контролем кристалографічної орієнтації підкладки, регулюванням режимів травлення та використанням органічних розчинників у складі реагентів це відкриває шляхи до повільної бездефектної обробки поверхні.

Одним із базових підходів є хімічне травлення, яке базується на контрольованій взаємодії матеріалу з реагентами – кислотами, лугами або окисниками. Для кремнію (Si) зазвичай використовують травники на основі HF, HNO_3, CH_3COOH або KOH, тоді як для сполук типу GaAs – суміші $H_2SO_4 – H_2O_2 – H_2O$ У процесі анізотропного травлення формується впорядкований мікрорельєф поверхні – мікропіраміди, «ямки травлення», морфологічні параметри яких залежать від кристалографічної орієнтації підкладки, концентрації травника, температури та часу обробки.

Електрохімічне травлення є іншим важливим методом формування мікроструктури поверхні, що дозволяє отримувати пористі структури, зокрема пористий кремній. Зміна параметрів електричного струму, концентрації HF, температури та освітленості дає змогу точно контролювати пористість, розміри та глибину структурних елементів. Отримані пористі поверхні мають значний потенціал у фотоніці, сенсорних і біоелектронних застосуваннях.

Для досягнення дзеркально-гладкої поверхні застосовують метод хімічно-механічного полірування, який поєднує механічне видалення матеріалу з контрольованими хімічними реакціями. Цей процес забезпечує надзвичайно низьку шорсткість (на рівні кількох нанометрів), що є критично важливим для виготовлення інтегральних схем і наноструктур

сучасних електронних пристроїв.

Завершальним етапом технологічного процесу часто виступає пасивація або окиснення поверхні, під час яких формується стабілізуючий шар, наприклад SiO_2 на кремнії. Такий шар виконує захисну функцію, зменшує кількість поверхневих дефектів і покращує електричну стабільність напівпровідникових структур.

Для комплексного аналізу сформованої мікроструктури застосовують сучасні методи аналітичної мікроскопії та спектроскопії: атомно-силову мікроскопію (AFM), сканувальну електронну мікроскопію (SEM), рентгенівську фотоелектронну спектроскопію (XPS) та профілометрію. Ці методи дозволяють детально дослідити морфологію, хімічний склад і якість поверхні після обробки.

Отже, хімічна обробка поверхні напівпровідникових матеріалів виступає універсальним і високоточним інструментом керованого формування мікроструктури з наперед визначеними фізико-хімічними параметрами. Оптимізація складу реагентів, режимів травлення, кристалографічної орієнтації та контролю якості поверхні забезпечує створення поверхонь, адаптованих до специфічних вимог сучасної електроніки, фотоніки та сенсорних систем.

1. Romano L. Etching: The Art of Semiconductor Micromachining. *Micromachines.* 2025. 16(2), 213. https://doi.org/10.3390/mi16020213

2. Jung K., & Lee J. A review of the mechanism and optimization of metal-assisted chemical etching and applications in semiconductors. *Micro and Nano Systems Letters*. 2024. 12, 27. https://doi.org/10.1186/s40486-024-00217-x

3. Znati S., Wharwood J., Tezanos K. G., Li X., & Mohseni P. K. Metal-assisted chemical etching beyond Si: applications to III–V compounds and wide-band-gap semiconductors. Nanoscale. 2024. 16, 10901-10946. https://doi.org/10.1039/D4NR00857J

4. Vilan, A., et al. Chemical modification of semiconductor surfaces for advanced device technology. *Chemical Reviews*. 2017. https://doi.org/10.1021/acs.chemrev.6b00746

5. Pal P., & Sato K. A comprehensive review on convex and concave corners in wet anisotropic etching of silicon. *Micro and Nano Systems Letters*. 2015. 3, 6. https://doi.org/10.1186/s40486-015-0012-4

МЕТОДИ ВИЗНАЧЕННЯ ВОЛОГОСТІ В ХЛІБОБУЛОЧНИХ ВИРОБАХ

Степанюк Анатолій Ростиславович
здобувач вищої освіти ІІІ курсу, stepan29@gmail.com
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Євдоченко Олена Сергіївна
доктор філософії з галузі знань 01 Освіта/ Педагогіка, доцент, lusichemis@gmail.com
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Вологість є одним із найважливіших фізико-хімічних показників якості хлібобулочних виробів, що регламентується державними стандартами (наприклад, ДСТУ). Надмірна або недостатня вологість негативно впливає на органолептичні властивості (смак, аромат, свіжість та м'якість м'якушки) та терміни зберігання (висока вологість сприяє швидкому пліснявінню та мікробіологічному псуванню. Неточності у вологості призводять до недоцільних витрат сировини та зниження виходу готової продукції. Знаючи вологість, можна точно розрахувати вміст сухих речовин (білків, жирів, вуглеводів), що критично важливо для харчової цінності та маркування [1].

Методи визначення вологості в хлібобулочних виробах поділяють на класичні та інструментальні. До класичних (арбітражних) методів визначення вологості належать: прямий метод (висушування в сушильній шафі), прискорений метод (інфрачервоне висушування). До інструментальних методів, що використовуються для оперативного контролю в потоці виробництва належать: діелектричний метод (використання вологомірів), метод Карла Фішера, нейтронний та ЯМР-метод (Ядерний магнітний резонанс) [2,3]. Кожен з методів має свої переваги та недоліки. Короткий опис, переваги та недоліки методів подамо у таблиці 1.

Таблиця 1. Характеристика методів визначення вологості

Назва методу	Суть	Переваги	Недоліки
Прямий метод	Зважений зразок висушують при високій температурі (130-135°для хліба та макаронних виробів) до припинення зміни маси (до постійної ваги). Втрата маси відповідає кількості випареної вологи.	Висока точність, універсальність, є арбітражним (еталонним) методом	Тривалість аналізу (кілька годин), необхідність подрібнення зразка.
Прискорений метод	Використання приладу, що комбінує зважування та швидке інфрачервоне нагрівання (аналізатор вологості)	Висока швидкість (хвилини), зручність, можливість використання безпосередньо у виробничій лабораторії.	Менша точність порівняно з прямим методом, необхідність калібрування
Діелектричний метод	Вимірювання електричної провідності або діелектричної проникності продукту, яка змінюється залежно від вмісту вологи	Миттєвий результат, неруйнівний контроль, можливість вбудовування в лінію	Вимагає точного калібрування під кожен тип продукту, чутливість до щільності та температури зразка.

Метод Карла Фішера	Хімічний метод, що використовує титрування для визначення лише вільної води.	Висока специфічність та точність, особливо для продуктів із низькою вологістю або зразків, що містять леткі речовини, крім води.	Складність, висока вартість реактивів, вимагає кваліфікованого персоналу
Нейтронний та ЯМР-метод	Сучасні неруйнівні методи, що вимірюють сигнал від ядер водню, який міститься у воді.	Дуже висока швидкість та точність, не вимагає пробопідготовки.	Висока вартість обладнання, використовується переважно у великих лабораторіях або для наукових досліджень

Вибір методу залежить від поставлених завдань: арбітражний метод для сертифікації та високої точності; експрес-методи (ІЧ-висушування, діелектричні вологоміри) для оперативного контролю якості на виробництві.

1. ДСТУ 7044:2009. Хліб житній та із суміші житнього і пшеничного борошна. Загальні технічні умови. Київ : Держспоживстандарт України, 2010. 15 с.

2. Коваленко І. А., Мельник О. С. Оптимізація методів контролю якості борошна. *Актуальні проблеми харчової промисловості : матеріали Всеукр. наук.-практ. конф., 24-25 трав. 2023 р., Київ*. Київ, 2023. С. 112–115.

3. Шевченко В. В. Технологія хлібобулочних виробів : навчальний посібник. Київ : Освіта України, 2022. 350 с.

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ФОТОПОЛІМЕРНИХ ПЛАСТМАС ДЛЯ 3D ДРУКУ НА ТВЕРДІ ТКАНИНИ ЗУБА ТА ПАРАДОНТУ У ПАЦІЄНТІВ З ПОРУШЕННЯМ СНЩС

Сухачова Мілана Олександрівна,
учениця 9-А класу, milanasukhachova2312@gmail.com
Науковий ліцей №3 Полтавської міської ради,Україна

Шевченко Світлана Віталіївна,
вчитель хімії, спеціаліст вищої кваліфікаційної категорії,
вчитель-методист, s.v.shev0@gmail.com
Науковий ліцей №3 Полтавської міської ради,Україна

Гнатологія є галуззю стоматології, що досліджує функціональні взаємозв'язки між зубами, щелепами, жувальною мускулатурою та скронево-нижньощелепними суглобами (СНЩС). Іншими словами, це наука про гармонійне співвідношення оклюзії та рухів нижньої щелепи відносно верхньої, яке забезпечує фізіологічне жування, ковтання та мовлення без перевантаження суглобових структур.

Основними завданнями гнатології є:

- дослідження закономірностей оклюзійних співвідношень;
- діагностика та терапія дисфункцій СНЩС;
- відновлення фізіологічної рівноваги між зубними рядами, жувальними м'язами та суглобами під час ортопедичного протезування або ортодонтичного лікування.

Мета дослідження полягає в науковому обґрунтуванні ефективності реабілітації пацієнтів із гнатологічними порушеннями шляхом застосування цифрового клініко-лабораторного протоколу, а також у вивченні біологічних властивостей фотополімерних пластмас і їхнього впливу на мікробіом ротової порожнини та тверді тканини зуба.

Завдання дослідження:

- здійснити аналіз і систематизацію наукових джерел із проблематики гнатологічних розладів;
- оцінити зміни функціональних показників і гігієнічних індексів у процесі використання різних полімерних матеріалів.

Об'єкт дослідження – дисфункції скронево-нижньощелепного суглоба (ДСНЩС).

Предмет дослідження – динаміка коефіцієнтів функціональних проб та гігієнічних індексів тканин пародонта за умов застосування різних видів пластмас.

Скронево-нижньощелепний суглоб є складною анатомо-функціональною системою, що забезпечує рухливість нижньої щелепи під час жування, мовлення, ковтання та дихання. Його стабільна робота залежить від узгодженої діяльності кісткових, м'язових, нервових і зв'язкових структур. Дисфункція СНЩС визначається як порушення його роботи, що супроводжується болем, обмеженням рухів, клацанням, шумом у вухах та іншими клінічними проявами. Такі порушення мають системний характер і можуть негативно впливати на процеси жування та травлення.

Сучасний етап розвитку стоматології характеризується активним упровадженням цифрових технологій, зокрема тривимірного (3D) друку, який дозволяє значно підвищити точність і прогнозованість виготовлення ортопедичних конструкцій. Одним із провідних матеріалів у цій галузі є фотополімерні пластмаси **NextDent** (Нідерланди), що належать до групи метакрилатних фотополімерів, які полімеризуються під дією світлового випромінювання визначеної довжини хвилі.

Для реалізації поставленої мети було застосовано комплекс клінічних, лабораторних, інструментальних і аналітичних методів. Експериментальна частина дослідження проводилася на базі стоматологічного закладу «Універсальна стоматологія» під керівництвом

доцента кафедри хірургічної стоматології Полтавського державного медичного університету Розколупи О. О.

Було обстежено дві групи пацієнтів:

- ***контрольна група*** – лікування проводилося за класичним аналоговим протоколом із використанням поліакрилатних пластмас (AcryDent);
- ***основна група*** – застосовувався цифровий протокол, що включав внутрішньоротове сканування, комп'ютерне моделювання конструкцій із використанням штучного інтелекту та 3D-друк із фотополімерних пластмас (NextDent M&H).

Результати клінічних спостережень засвідчили, що у контрольній групі, де використовувалися традиційні методи, спостерігалися суттєві відхилення у функціональних та гігієнічних показниках. Натомість у пацієнтів основної групи, де застосовувалися цифрові технології, відмічено значне покращення функціональних параметрів. Показники OHI-S, Pl та Gl знизилися на 65–70 %, що свідчить про зменшення запальних процесів у тканинах пародонта та покращення гігієнічного стану порожнини рота.

Отримані результати підтвердили високу ефективність використання цифрового протоколу та фотополімерних матеріалів у реабілітації пацієнтів із ДСНЩС. Застосування таких технологій забезпечує точне відтворення анатомічної форми ортопедичних конструкцій, оптимальну гігієну, комфорт пацієнта та довготривалу функціональну стабільність.

Висновки:

1. Аналіз літературних джерел свідчить про зростання поширеності дисфункцій СНЩС як в Україні, так і у світі, що зумовлює актуальність пошуку нових підходів до їхньої реабілітації.

2. Порівняльна оцінка результатів двох клінічних груп довела перевагу цифрових технологій над традиційними аналоговими методами. Використання цифрового протоколу в поєднанні з фотополімерними пластмасами сприяє підвищенню точності, прогнозованості та довговічності ортопедичних конструкцій, а також відповідає сучасним естетичним і клініко-гігієнічним стандартам.

3. Отримані результати дозволяють вважати застосування фотополімерних матеріалів для 3D-друку клінічно обґрунтованим і доцільним при лікуванні пацієнтів із дисфункціями СНЩС.

1. Кисельова Н. В. Гігієнічні індекси в оцінці стану ротової порожнини. Київ: Медицина, 2022.

2. Шевченко І. М., Кравченко Л. В. Сучасні фотополімерні матеріали для 3D-друку в стоматології. Український стоматологічний журнал, 2023..

3. Bora, P. V., et al. (2024/2025). Enamel wear and fatigue resistance of 3D printed resin vs. lithium disilicate. Journal (in vitro). Важливо, якщо в проєкті є частина оцінки зносу емалі при контакті з реставраціями з 3D-смол.

РЕАКЦІЯ ШКІРИ НА КОСМЕТИКУ: ЕФЕКТИВНІ СПОСОБИ ШВИДКОЇ ДОПОМОГИ

Шаран Тетяна Олександрівна
здобувач вищої освіти IV курсу, tillajti8@gmail.com
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Авдєєва Ольга Юріївна,
доктор філософії, доцент кафедри хімії, avdeeva8909@gmail.com
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Контактний дерматит (КД) є найбільш поширеним типом шкірної реакції, що виникає після прямого контакту шкіри з певними речовинами, які містяться у косметичних засобах, наприклад, подразнення може бути спричинене прикрасами, які містять нікель, адже речовина здатна проникати крізь захисний бар'єр шкіри й викликати імунну відповідь організму. Контактний дерматит проявляється локалізованими симптомами, які можуть включати еритему (почервоніння), набряк, мокнуття, утворення кірок, свербіж або болючість. Процес відновлення шкіри може тривати від кількох днів до кількох тижнів, залежно від індивідуальної реакції організму [1].

Клінічна картина контактного дерматиту поділяється на кілька морфологічних стадій, незалежно від причини:

- гостра фаза (еритема, набряк, везикули або пустули);
- підгостра фаза (кірки, лущення, гіперпігментація);
- хронічна фаза, яка характеризується потовщенням шкіри або ліхеніфікацією.

Гостра фаза є найбільш небезпечною, оскільки неконтрольоване запалення може швидко перейти у хронічний процес, що ускладнює подальше лікування. Тому надзвичайно важливо своєчасно розпізнати перші симптоми та вжити необхідних заходів, аби запобігти переходу гострої фази у тривалий патологічний стан.

Анілінові барвники у складі помад, а також солі металів (хромові, срібні та нікелеві) в олівцях для очей і туші для вій є одними з найбільш алергенних компонентів косметичних засобів. Ці речовини можна зустріти і в інших засобах з косметички. Проте губи та очі особливо чутливі, адже косметика в цих місцях контактує зі слизовими оболонками, що дозволяє будь-якому алергену легко потрапляти в організм.

Варто зазначити, що чим яскравіший і стійкіший колір косметичного засобу, тим вища ймовірність, що у його складі присутні потужні та потенційно агресивні барвники. Наявність у продукті значної кількості консервантів, таких як парабени чи формальдегіди, продовжує термін його зберігання, що є вигідним для виробника та дозволяє реалізувати товар протягом тривалого часу. Водночас надмірна концентрація консервантів підвищує ризик алергічних реакцій та подразнень шкіри, оскільки такі речовини можуть активно взаємодіяти з біологічними структурами організму [2].

Насамперед, при появі будь-яких ознак небажаної реакції на косметичний засіб необхідно негайно припинити його використання. Потім слід акуратно змити залишки продукту з шкіри за допомогою прохолодної води та м'якого очищувального засобу. Щоб зменшити прояви алергії, рекомендується прийняти антигістамінний препарат у вигляді таблеток або крапель – це допоможе зняти набряк та свербіж. Для полегшення подразнення можна прикласти холодний компрес або скористатися заспокійливими засобами, наприклад, гелем з алое вера чи кремом із каламіном, які зменшують почервоніння, печіння та запалення.

Якщо алергічна реакція має виражений характер – спостерігається сильний набряк, утруднене дихання чи інші небезпечні симптоми – слід негайно звернутися по медичну допомогу. Важливо пам'ятати, що самолікування може погіршити стан, тому за відсутності покращення потрібно звернутися до лікаря-спеціаліста.

Отже, алергічні реакції на косметичні засоби є досить поширеним явищем, яке може становити небезпеку для здоров'я шкіри та організму загалом. Найважливішим є своєчасне розпізнавання симптомів і негайне припинення використання засобу, що викликав подразнення. Водночас важливо не займатися самолікуванням і в разі посилення симптомів звернутися до лікаря. Регулярне проведення алерготестів перед використанням нових косметичних продуктів та вибір гіпоалергенної сертифікованої косметики є найкращою профілактикою шкірних реакцій і запорукою збереження здорової, доглянутої шкіри.

1.Косметика та алергія: десять правил для алергіка URL : https://www.bsmu.edu.ua/blog/6774-kosmetika-ta-alergiya-desyat-pravil-dlya-alergika/ (дата звернення 03.11.25)

2.MARIE FRESH. Алергія на доглядову косметику: перша допомога шкірі. URL:https://mariefreshcosmetics.com/posts/allergiya-na-uhodovuyu-kosmetiku?srsltid=AfmBOopMr7M4a1NYZ7fCzKbV22beHjFz_jnK-Fg-K2vS9CLcXgKUQApp (дата звернення 03.11.25)

ШЛЯХИ ЗАПОБІГАННЯ НЕГАТИВНОМУ ВПЛИВУ ЛІКАРСЬКИХ ПРЕПАРАТІВ НА ШЛУНКОВО-КИШКОВИЙ ТРАКТ

Шаран Тетяна Олександрівна
здобувач вищої освіти IV курсу tillajti8@gmail.com
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Свиридюк Катерина Петрівна
асистент кафедри хімії, svyrydiuk-k@zu.edu.ua
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Негативний вплив лікарських препаратів на шлунково-кишковий тракт (ШКТ) є однією з актуальних проблем сучасної фармацевтичної науки, що безпосередньо стосується як клінічної фармакології, так і фармацевтичної технології. Особливої уваги заслуговують нестероїдні протизапальні препарати (НПЗП), які через гальмування синтезу простагландинів спричиняють ушкодження слизової оболонки ШКТ як шляхом місцевої дії, так і системно [1]. Фармацевтична технологія відіграє ключову роль у мінімізації таких ризиків, оскільки технологічні параметри лікарської форми значною мірою визначають локальну біодоступність та контакт активної речовини зі слизовою оболонкою.

Одним із найефективніших технологічних напрямів є створення лікарських форм із модифікованим вивільненням — кишково-розчинних (enteric-coated), пролонгованих або систем із контрольованим вивільненням активного фармацевтичного інгредієнта. Такі форми дозволяють зменшити контакт препарату зі слизовою шлунка та перенести його вивільнення в більш нейтральне середовище кишечнику [2]. Водночас дослідження свідчать, що подібні форми не повністю усувають ризик ураження нижніх відділів ШКТ, оскільки тривала дія активної речовини може спричиняти ушкодження слизової тонкої кишки [3].

Інший напрям технологічної профілактики полягає у створенні комбінованих лікарських форм, що містять гастропротекторні компоненти або спеціальні ексципієнти з мукоадгезивними властивостями. До таких допоміжних речовин належать альгінати, глікозаміноглікани, полімери з локальним бар'єрним ефектом, які утворюють захисну плівку на поверхні слизової та знижують ерозивну дію препарату [4]. Перспективним також є поєднання активних речовин із донаторами оксиду азоту або сірководню, що сприяють збереженню мікроциркуляції слизової [5].

Фармацевтична технологія враховує не лише склад і фізико-хімічні властивості лікарської форми, а й індивідуальні характеристики пацієнта — вік, наявність гастриту, інфекції Helicobacter pylori, прийом супутніх лікарських засобів. Це визначає доцільність використання певного типу покриття, швидкості вивільнення або необхідність додавання гастропротекторів. На етапі розробки комбінованих форм також доцільно інтегрувати інгібітори протонної помпи чи антагоністи H_2-рецепторів, що забезпечує системний захист слизової [6].

Технологічні стратегії запобігання ушкодженню ШКТ включають також створення мультичастинкових систем (multiparticulate dosage forms), які забезпечують рівномірний розподіл частинок по всьому травному тракту, а отже — знижують локальні пікові концентрації препарату. Крім того, сучасні фармацевтичні технології орієнтуються на персоніфіковані підходи: використання систем, здатних адаптуватися до фізіологічних особливостей пацієнта (наприклад, до змін моторики чи кислотності шлунка). Таким чином, запобігання негативному впливу лікарських препаратів на ШКТ — це міждисциплінарне завдання, у якому технологічне вдосконалення лікарської форми відіграє не меншу роль, ніж фармакологічна корекція.

1. Arroyo M., Lanas A. Nonsteroidal anti-inflammatory drugs and upper and lower gastrointestinal mucosal damage. *Arthritis Research & Therapy*. 2008;10(4):R134.

2. Coruzzi A., Venturi N., Spaggiari S. NSAID-induced gastrointestinal damage and the design of GI-sparing NSAIDs. *Acta Biomed*. 2007;78(2):96–110.

3. Lanza F. L., Chan F. K. L., Quigley E. M. M. NSAIDs and the gastrointestinal tract. *Clin Gastroenterol Hepatol*. 2007. 5(7). P. 818–828.

4. Sohail S. et al. Effects of Non-steroidal Anti-inflammatory Drugs (NSAIDs) and Gastroprotective NSAIDs on the Gastrointestinal Tract: A Narrative Review. *Journal of Clinical Pharmacology*. 2023.

5. Vitale G. et al. Gastroprotective Effects of Oral Glycosaminoglycans with Sodium Alginate in an Indomethacin-Induced Gastric Injury Model in Rats. *Animals (MDPI)*. 2023. 10(12):667.

6. A Novel Approach of Formulation & Evaluation of Tablet in Capsule Device for GI Protection Pain Management. *Pharma Excipients News*. October 2024.

МЕМБРАННИЙ ЕЛЕКТРОЛІЗ РОЗЧИНІВ, ЗАБРУДНЕНИХ ІОНАМИ КАДМІЮ

Шокаленко Олександр Вікторович,
здобувач вищої освіти І курсу магістратури, aleksandrsokalenko@gmail.com
Сумський державний університет, Україна

Большаніна Світлана Борисівна
доцент кафедри теоретичної та прикладної хімії s.bolshanina@chem.sumdu.edu.ua
Сумський державний університет, Україна

Європейський зелений курс (European Green Deal, ЄЗК), офіційно представлений Європейською Комісією у Європарламенті 11 грудня 2019 року, є масштабним пакетом заходів, спрямованих на трансформацію Європи у кліматично нейтральний континент до 2050 року. Він окреслює стратегічні напрямки політики ЄС на найближчі десятиліття у таких ключових сферах, як клімат, енергетика, збереження біорізноманіття, промислова політика та торгівля.

Досягнення статусу першого у світі кліматично нейтрального континенту до 2050 року планується через активізацію економічного розвитку, покращення здоров'я та якості життя громадян, а також шляхом перетворення екологічних і кліматичних викликів у нові можливості для всіх секторів та політик ЄС. Важливим компонентом цієї ініціативи є забезпечення справедливості та інклюзивності зеленого переходу.

Загалом запровадження ЄЗК відкриває для України значний потенціал у розвитку низки ключових галузей економіки, таких як енергетика, транспорт, ресурсозберігаюче будівництво та реконструкція об'єктів, енергоефективність теплопостачання й інших сферах[1].

Щоб повністю інтегруватися в курс сталого «зеленого» розвитку європейської економіки, пропонується значно вдосконалити екологічно несприятливе та ресурсовитратне гальванічне виробництво. Цей процес включає масштабне використання агресивних розчинів та численні етапи промивання, що зумовлює високий рівень споживання чистої води. У результаті утворюються токсичні стічні води, які потребують обов’язкової нейтралізації та безпечної утилізації[2].

У дослідженні розглядається застосування мембранного електролізу для оптимізації складу гальванічних ванн та створення безвідходного виробничого процесу.

З метою перевірки ефективності методу був сконструйований двокамерний модуль, оснащений катіонообмінною мембраною. Було проаналізовано вплив початкової концентрації аноліту, а також процесів нагрівання та перемішування на перебіг процесу мембранного електролізу. Аналіз концентрації кадмієвих іонів у розчині проводили комплексонометричним титруванням. Для визначення властивостей та складу осадів, що утворювались під час функціонування електрохімічного пристрою, застосовували рентгенівську дифрактометрію та растрову електронну мікроскопію, інтегровану з функцією рентгенівського мікроаналізу. Виявлено, що висока концентрація аноліту та процес нагрівання розчинів в електролізері є умовами, які сприяють підвищенню ефективності процесу електролізу, тоді як перемішування не має значного впливу на процес.

Експериментальні дослідження показали, що застосування магнітної мішалки для примусового перемішування лише незначно підвищує ефективність перенесення іонів через мембрану.

Таблиця 1. Розрахунок виходу за струмом кадмію в процесі електрохімічного вилучення іонів кадмію в залежності від умов його проведення.

Умови мембранного електролізу	Зміна маси титанового катоду, г	Зміна маси катоду кулонометра, г	Зміна концентрації в католіті, моль-екв/л	Вихід за струмом, %
Без перемішування, t=15°C	0,071	0,503	0,00369	29,75
З перемішуванням 800 об/хв, t=15°C	0,016	0,389	0,00337	30,11
З перемішуванням 800 об/хв, t=32°C	0,225	0,551	0,003	37,88

Зокрема, порівняння результатів за однакової температури продемонструвало, що вихід за струмом при перемішуванні становив 30,11, тоді як без нього – 29,75. Ця незначна різниця може бути обумовлена компактними розмірами модуля. При таких умовах самовільне перемішування, спричинене виділенням газів на аноді, виявляється достатнім для усунення концентраційної поляризації і забезпечення ефективного перенесення іонів через мембрану.

При концентрації розчину CdSO4 0,25 моль-екв/л вихід за струмом становить 29,75% при температурі 15°C та 37,88% при 32°C. Таке значне зростання показника виходу за струмом можна обґрунтувати правилом Вант-Гоффа. Згідно з ним, підвищення температури сприяє збільшенню кількості активних йонів у системі та зниженню енергії активації процесу, що в даному випадку відноситься до електролізу[3].

Таблиця 2. Розрахунок чисел перенесення іонів кадмію процесу електрохімічного вилучення іонів кадмію з модельного розчину

$C_{аноліту}$ ($CdSO_4$) моль-екв/л	Q(Cd), Кл	Δm_k Cu, г	$Q_{заг}$,Кл	$t_+(Cd^{2+})$	ВС,%
0,25	450,19	0,697	2117,11	0,21	7,65
0,5	993,72	0,587	1783,99	0,557	8,37

При концентрації сульфату кадмію 0,25 моль-екв/л середній вихід за струмом складає трохи більше 7%, а при 0,5 моль-екв/л – близько 8%. Незначні відмінності у виході за струмом металевого кадмію на катоді пояснюються конкурентним процесом виділення газоподібного водню.

Результати проведеного дослідження демонструють, що застосування двокамерного електрохімічного модуля з катіонообмінною мембраною є ефективним засобом для видалення іонів кадмію з промивних гальванічних розчинів. Це дозволяє не лише знизити потрапляння цього токсичного елемента в навколишнє середовище, але й створити передумови для впровадження замкнутого циклу виробництва.

1. Іванюта С. П., Якушенко Л. М. Європейський зелений курс і кліматична політика України. Нац. ін-т стратег. дослідж., 2022. URL: https://doi.org/10.53679/niss-analytrep.2022.12 (дата звернення: 25.10.2025).

2. Serdiuk V. O. et al.Membrane Processes during the Regeneration of Galvanic Solution / *Journal of Engineering Sciences*. 2018. Vol. 5, no. 2. P. F1–F6. URL: https://doi.org/10.21272/jes.2018.5(2).f1 (дата звернення: 25.10.2025).

3. Шокаленко О. В. Мембранний електроліз розчинів, забруднених іонами кадмію : робота на здобуття кваліфікаційного ступеня бакалавра : спец. 102 - хімія / наук. кер. С. Б. Большаніна. Суми : Сумський державний університет, 2025. 62 с. URL: https://essuir.sumdu.edu.ua/handle/123456789/99359 (дата звернення: 02.11.2025).

ФІЗИКО-ХІМІЧНІ МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ М'ЯСА ТА М'ЯСНИХ ВИРОБІВ

Федолізде Денис Олександрович
здобувач вищої освіти ІІІ курсу, fedolidze05@gmail.com
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Євдоченко Олена Сергіївна
доктор філософії з галузі знань 01 Освіта/ Педагогіка, доцент, lusichemis@gmail.com
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Контроль якості необхідний для запобігання поширенню інфекційних та інвазійних захворювань, а також для виявлення залишків ветеринарних препаратів (антибіотиків, гормонів). Оцінка якості забезпечує відповідність м'яса та продуктів вимогам ДСТУ [1], технічних умов (ТУ) та міжнародних стандартів (HACCP, ISO). Методи дозволяють визначити сортність туш (наприклад, за вгодованістю) та, що критично важливо, ступінь свіжості м'яса (парне, охолоджене, заморожене, зіпсоване).

Лабораторні фізико-хімічні методи є точними, об'єктивними і використовуються для підтвердження результатів органолептичного аналізу, а також для виявлення прихованих змін у м'ясі, пов'язаних з його псуванням або фальсифікацією [2,4].

Визначення водневого показника (pH) полягає у вимірюванні концентрації іонів водню (pH) у м'язовій тканині, яке відображає ступінь її свіжості та зрілості. Парне м'ясо (відразу після забою): pH близький до нейтрального (pH 6,8-7,0). Зріле/Охолоджене м'ясо (після дозрівання): У процесі автолізу (дозрівання) глікоген перетворюється на молочну кислоту, і pH знижується до 5,6 - 5,8. Це оптимальний рівень для ніжності та смаку. Несвіже/зіпсоване м'ясо: Подальший розпад білків під дією мікроорганізмів призводить до утворення лужних продуктів (аміаку, амінів), що викликає збільшення pH (понад 6,3 - 6,5) [3]. Таке підвищення є ознакою початку гнильних процесів.

Для визначення свіжості м'яса проводять реакції на продукти розпаду білків та леткі речовини. Ці методи спрямовані на виявлення низькомолекулярних сполук, які є прямими індикаторами мікробного псування.

Реакція на аміак та солі амонію (використання реактиву Несслера). Аміак і солі амонію утворюються в результаті розпаду амінокислот під дією мікрофлори. Реактив Несслера (лужний розчин тетрайодомеркурату калію) при взаємодії з аміаком дає жовте або оранжево-коричневе забарвлення. Інтенсивність забарвлення корелює зі ступенем несвіжості [2].

Виявлення сірководню. Сірководень утворюється при розпаді сірковмісних амінокислот (наприклад, цистеїну та метіоніну). Для його виявлення використовують плюмбум ацетат, який у присутності H_2S викликає почорніння смужки фільтрувального паперу. Це достовірний показник глибокого гнильного розкладу [4].

Визначення летких жирних кислот (ЛЖК)/ Леткі жирні кислоти (етанова, пропіонова, масляна) є продуктами життєдіяльності гнильних бактерій. Аналіз передбачає перегонку з водяною парою та подальше титрування (нейтралізацію) ЛЖК. Чим більше мілілітрів лугу йде на титрування, тим більше ЛЖК, і тим нижча свіжість м'яса.

Реакція на пероксидазу (для м'яса, що було розморожене) [4]. Фермент пероксидаза руйнується при тепловій обробці, але зберігається у свіжому та одноразово замороженому/розмороженому м'ясі. Якщо м'ясо було багаторазово заморожено і розморожено (що є ознакою неналежного зберігання), активність пероксидази знижується або зникає. Дослідження проводять шляхом додавання розчину бензидину та перекису водню. Поява синього забарвлення вказує на позитивну реакцію (тобто, м'ясо було свіжим до заморожування).

Для контролю фальсифікації та складу м'ясо та м'ясних виробів проводять додаткові методи. Наприклад проводять визначення загальної вологи та вмісту білка. Ці показники є

важливими для оцінки харчової цінності та виявлення додавання надмірної кількості води. *Виявлення нітриту натрію* використовується для фіксації кольору м'яса (ковбаси, шинки). Контролюється його залишкова кількість, оскільки надмір є небезпечним для здоров'я. Ці методи дозволяють отримати об'єктивні числові дані, необхідні для прийняття рішення щодо якості та придатності м'яса до споживання.

1. Дмитрук М. О. Удосконалення методів ідентифікації та контролю якості м'ясної сировини : дис. канд. техн. наук. Харків, 2020. URL: http://dspace.nuft.edu.ua/bitstream/123456789/201/1/Dmitruk.pdf (Дата звернення: 06.11.2025).

2. ДСТУ 4831:2007. М’ясо. Метод визначення pH. Київ : Держспоживстандарт України, 2008. 8 с.

3. Петренко Г. О. Сучасні методи фізико-хімічного контролю свіжості м’яса. *Продовольча сировина і ресурси*. 2023. Т. 3 (2). С. 55–61.

4. Савчук В. М., Ковальчук Н. І., Тимченко Л. О. Технологія м’яса і м’ясних продуктів : підручник. Київ : Аграрна освіта, 2021. 420 с.

СЕКЦІЯ 6:

Особливості викладання хімії в закладах середньої та вищої освіти

ЗАСТОСУВАННЯ ВІРТУАЛЬНИХ ЛАБОРАТОРІЙ ДЛЯ ФОРМУВАННЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ УМІНЬ ЗДОБУВАЧІВ ВИЩОЇ ОСВІТИ

Басюк Владислав Олександрович,
здобувач вищої освіти ІІ курсу другого (магістерського) рівня вищої освіти,
bosikbasuk9@gmail.com
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Авдєєва Ольга Юріївна
доктор філософії, доцент, avdeeva8909@gmail.com
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Упровадження віртуальних лабораторій (ВЛ) у навчальний процес закладів вищої освіти є стратегічною відповіддю на подвійний виклик сучасності: з одного боку, це зумовлено стрімким розвитком інформаційних технологій, а з іншого – необхідністю подолання економічних обмежень, спричинених високою ціною реального обладнання для проведення повноцінних експериментів. Ця необхідність особливо загострилася в умовах кризових явищ, таких як пандемія COVID-19 та повномасштабна війна, коли віртуальні лабораторні практикуми стали єдиною можливістю для здобувачів вищої освіти отримати практичний досвід, забезпечуючи неперервність освітнього процесу незалежно від місця та часу.

В умовах сьогодення віртуальні лабораторії є засобом моделювання експериментальної роботи в безпечному та доступному середовищі. Вони дозволяють студентам виконувати основні типові операції хімічного експерименту, змінювати параметри дослідів, аналізувати дані та отримувати миттєвий зворотний зв'язок, що робить їх корисним доповненням до класичних лабораторних занять.

Практичне значення ВЛ полягає у формуванні ключових експериментальних умінь: планування експерименту, безпечне поводження з реактивами (віртуально), виконання послідовних операцій, спостереження за явищами, вимірювання та інтерпретація результатів. Огляд літератури показує [1, 3], що використання віртуальних лабораторій сприяє поліпшенню когнітивних результатів і розвитку навичок практичної роботи, особливо якщо ВЛ інтегруються в змішані (blended) навчальні сценарії.

Конкретні платформи та інструменти (PhET, ChemCollective, Labster, ChemVLab+ тощо) надають різні підходи: інтерактивні симуляції (PhET) для ілюстрації концептів; віртуальні лабораторії з набором реактивів і обладнання (ChemCollective) для відпрацювання процедур; комплексні сценарії та адаптивні задачі (Labster, ChemVLab+) для формування практичних навичок і наукового мислення. Дослідження демонструють, що правильно побудовані сценарії та інтеграція з інструктором підвищують ефективність навчання.

Варто зазначити, що в ході використанні віртуальних лабораторій у навчанні хімії можна дотримуватися деяких дієвих порад: 1) поєднувати віртуальні та реальні лабораторні заняття (flipped-lab / blended approach); 2) розробляти задачі з чіткими навчальними цілями й критеріями оцінювання; 3) включати рефлексію та інтерпретацію результатів; 4) забезпечити технічну підтримку і доступ студентів до платформ. Такі підходи підвищують мотивацію та сприяють глибшому засвоєнню експериментальних процедур [2, 4]. Проте, існують і певні обмеження в процесі застосування ВЛ: відсутність тактильного досвіду, інколи – обмежена достовірність моделювання складних явищ, потреба в інфраструктурі й ліцензіях (для комерційних продуктів), тому варто використовувати ВЛ як доповнення до підготовки лабораторних занять, особливо у випадках дистанційного навчання або обмеженого ресурсного забезпечення.

Отже, віртуальні лабораторії є потужним та необхідним інструментом для сучасної підготовки фахівців, забезпечуючи розвиток не лише базових практичних навичок, але й вищих когнітивних функцій – аналітичного мислення та дослідницької активності. Хоча віртуальні лабораторії забезпечують безбар'єрну та інклюзивну освіту , вони повинні

використовуватись в рамках інтегрованих моделей, які оптимізують час та ресурси, дозволяючи здобувачам вищої освіти отримати повноцінний практичний досвід, необхідний для майбутньої кар'єри. Таким чином, віртуальні лабораторії є ефективним інструментом формування експериментальних умінь здобувачів вищої освіти за умови методично обґрунтованої інтеграції в навчальний процес. Вони підвищують доступність у виконанні практичних завдань, дозволяють безпечно відпрацьовувати основні операції в хімічному експерименті та сприяють розвитку аналітичних навичок.

1. Moore E. B., Chamberlain J. M., Parson R., Perkins K. K. PhET Interactive Simulations: Transformative Tools for Teaching Chemistry. *Journal of Chemical Education*. 2014. Vol. 91 (8). P. 1191–1197. DOI: 10.1021/ed4005084

2. Yaron D., Karabinos M., Lange D., Greeno J., Leinhardt G. The ChemCollective—*Virtual Labs for Introductory Chemistry Courses. Science*. 2010. Vol. 328 (5978). P. 584–585. DOI: 10.1126/science.1182435

3. Manyilizu M. C., Vhumbunu C. H. Effectiveness of Virtual Laboratory in Chemistry Education: A Review. *Education and Information Technologies*. 2022. Vol. 27. P. 6849–6865. DOI: 10.1007/s10639-022-11015-8

4. Díez-Pascual A. M., Díez-Vicente A. L. Remote Teaching of Chemistry Laboratory Courses during the COVID-19 Pandemic: Challenges and Opportunities. *Journal of Chemical Education*. 2022. Vol. 99 (3). P. 1192–1201. DOI: 10.1021/acs.jchemed.1c01020

ЗМІНА АКЦЕНТІВ У ПІДГОТОВЦІ ФАХІВЦІВ В УМОВАХ ВОЄННОГО СТАНУ

Біла Галина Миколаївна,
кандидат хімічних наук, доцент, Bilagalina2013@gmail.com
Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

Антрапцева Надія Михайлівна,
доктор хімічних наук, професор, aspirant_nubipu@ukr.net
Національний університет біоресурсів і природокористування України, Київ, Україна

Єфімчук Давід Миколайович,
магістр, aspirant_nubipu@ukr.net
Національний університет біоресурсів і природокористування України, Київ, Україна

Система освіти, як і інші сфери діяльності, в умовах воєнного стану набула дещо іншої, видозміненої форми. Одне із головних місць у навчальному процесі упевнено займає дистанційне навчання. Його можливі переваги і недоліки всебічно проаналізовано та досить повно описано [1,2]. Але, враховуючи умови воєнного стану, дистанційне навчання у багатьох навчальних закладах різної форми власності стало основною платформою навчального процесу, яка дає можливість отримувати необхідні знання, користуючись інформаційними ресурсами і сучасними інформаційно-комунікаційними технологіями.

Основна проблема, яку необхідно вирішувати використовуючи дистанційне навчання стосовно конкретної дисципліни – це питання вибору тем навчального матеріалу і засобів організації навчального процесу. Саме вони багато в чому визначають доступність і якість освіти при дистанційному навчанні.

Із попереднього досвіду Національного університету харчових технологій (НУХТ) дистанційне навчання для студентів технологічних спеціальностей розпочиналося у другому семестрі першого курсу. До дисциплін, які вивчали студенти під час дистанційного періоду навчання, відносилися усі без винятку загальноосвітні та спеціальні дисципліни, зокрема й хімічні. Теперішні умови кинули виклик усій системі освіти і примусили повністю перейти на платформу дистанційної освіти не залежно від курсу чи спеціальності, які викладаються в університеті.

Тому, створені раніше електронні навчальні курси (ЕНК) на основі платформи Moodle для організації дистанційного навчання стали основною базою при вивченні студентами усіх дисциплін та зазнали серйозного оновлення в умовах воєнного стану. Для входу в ЕНК і роботи в ньому кожному студенту присвоюється особистий пароль і електронна пошта, за допомогою якої студент вільно спілкується з викладачами і адміністраторами сайту. На електронну пошту він може отримувати завдання, контрольні тести, результати їх перевірки та коментарі викладача.

Лекції для вивчення теоретичного матеріалу містять ретельно відібраний і адаптований до спеціальності студентів науковий матеріал, розкривають зв'язок теоретичних положень хімії з практикою майбутнього фахівця. Якщо раніше лекції подавалися у вигляді текстового файлу із зазначенням додаткової літератури, інтернет ресурсів та супроводжувалися відеоматеріалами і презентаціями, то у складних умовах воєнного стану викладач має можливість, використовуючи платформи Webex або ZOOM в системі реального часу, проводити заплановану лекцію. Така форма дозволяє контролювати присутність студентів, вести з ними діалог, дискусію чи короткі бліц-опитування. Також кожна лекція може бути записана і розташована на дистанційній платформі для тих учасників освітнього процесу, які із-за відсутності стабільного постачання електроенергії та інтернет-зв’язку можуть прослуховувати її у зручний для себе час.

Поєднання графіки, двох- і тривимірної анімації і звуку дозволяє передавати студентам максимальну кількість інформації за короткий час, демонструвати перебіг хімічних реакцій і процесів. Лекційні демонстрації роблять будь-яке хімічне явище більш зрозумілим і ясним для студентів, сприяючи кращому засвоєнню і розуміння законів, розвивають їхню уяву, підвищують пізнавальну активність.

Така форма подачі теоретичного матеріалу для дистанційного навчання виховує навички аналітичного мислення, вчить аналізувати і узагальнювати інформацію, дозволяє в спокійній обстановці, використовуючи наведені довідкові дані, складати порівняльні асоціативні характеристики досліджуваних об'єктів, виконуючи контрольні завдання перевіряти рівень засвоєння матеріалу.

Лабораторний практикум крім текстового файлу з описом техніки і методики виконання експериментальних робіт також супроводжується відеоматеріалами з покроковою демонстрацією усіх стадій виконання дослідів і обробки отриманих результатів.

Так, наприклад, при вивченні дисципліни «Хімічні методи аналізу харчових добавок та косметичних засобів» в матеріалах ЕНК для студентів наводиться календарний план дистанційного навчання, що включає теми лекційних та лабораторних занять, розподіл балів за кожен вид виконаного завдання, зміст модулів для перевірки знань, форми проміжного і модульного контролю знань, рекомендовану літературу та інтернет-ресурси, рекомендації до вивчення дисципліни. Короткі відеоматеріали щодо правил технік безпеки у хімічній лабораторії, при виконанні тієї чи іншої хімічної реакції дозволяють викладачу і студентам в умовах реального часу зосереджувати свою увагу на головних моментах і звертати особливу увагу на небезпечні моменти під час роботи у хімічній лабораторії.

Крім того вказується графік обробки матеріалу: початок і закінчення роботи з матеріалом, терміни здачі контрольних завдань. Це дає можливість своєчасного контролю знань студентів, а для студентів – можливість своєчасної здачі тестів і контрольних завдань, передбачених робочою програмою.

Перший та другий змістовий модуль дисципліни «Хімічні методи аналізу харчових добавок та косметичних засобів» включає по п’ять лекцій та п’ять лабораторних робіт. По закінченню вивчення матеріалу студент виконує завдання модульного контролю знань та підсумкового диференційованого заліку.

Результати перевірки модульних робіт показують, що 97% студентів повністю впоралися з написанням відповідей на теоретичні питання перших двох лабораторних робіт. 35-40% від загального числа студентів дають повні та розширені відповіді на питання. 70-75% – показали середній і вище середнього рівня знань, і тільки 2,4% студентів не змогли отримати задовільний результат.

Враховуючи попередній досвід застосування дистанційної форми навчання для опановування хімічних дисциплін та нові акценти, що набули актуальності в сучасних умовах воєнного стану, слід зазначити, що їх комплексне використання для організації навчального процесу створює унікальне середовище для навчання і є одним із засобів підвищення ефективності та якості підготовки майбутніх сучасних фахівців.

1. Сучасний стан і світові тенденції розвитку дистанційної освіти / за ред. П. М. Таланчука. К. : Університет «Україна». 2010. 470 с.

2. Дистанційне навчання: досвід, становлення та розвиток. Уклад.: В. П. Балюк, С. В. Спірякова, О.В. Токміленко, О. Б. Чорней. Полтава. 2018. 69 с.

РОЛЬ ЦИФРОВІЗАЦІЇ В ХІМІЧНІЙ ОСВІТІ

Ванельчук Ірина Миколаївна
здобувач вищої освіти ІІ курсу другого (магістерського) рівня вищої освіти,
ira.vanelchuk@gmail.com
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Авдєєва Ольга Юріївна
доктор філософії, доцент, avdeeva8909@gmail.com
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Освіта в XXI столітті має завдання підготувати здобувачів вищої освіти до відповідальної участі в нашому суспільстві, яке стає все більш цифровим. Це неодмінно передбачає використання цифрових інструментів на заняттях та ставить перед системою освіти та зацікавленими сторонами нові стратегічні завдання. Через масштабні виклики та необхідність модернізації в освіті, науковці в усьому світі були змушені переосмислити методику викладання та активно впроваджувати цифрові інструменти для забезпечення безперервності та підвищення якості освіти. Це призвело до значного прискорення процесів цифрової трансформації в багатьох навчальних установах по всьому світу [1].

У хімічній освіті, як частині природничих наук, сама лише наявність цифрових інструментів не додає автоматично цінності заняттям. Загалом, предмети STEM (природничі науки, технології, інженерія та математика) є дуже важливими для суспільства, оскільки вони часто знаходяться в центрі інноваційних процесів. Вивчення цих дисциплін часто вимагає від здобувачів вищої освіти високого рівня абстрактного мислення та візуалізації складних концепцій. У цьому контексті, цифрові інструменти є потужним потенційним ресурсом, який може ефективно сприяти досягненню цих вимог.

Цифрові інструменти також можуть допомогти поліпшити розуміння здобувачів вищої освіти за допомогою інтерактивного, мультимедійного навчального контенту. Крім того, предмети STEM часто вимагають високої компетентності в роботі з цифровими технологіями, оскільки багато наукових процесів були оцифровані, а дані часто обробляються за допомогою комп'ютерів. Це означає, що використання цифрових технологій у предметах STEM можна розуміти як підготовку молоді до вимог ринку праці майбутнього [2].

Електронні навчальні засоби не можуть замінити технічну мову та експерименти, але здатні відігравати допоміжну та доповнювальну роль за умови, що вони мають значущий зв'язок із змістом та навчальними завданнями. Попередні дослідження [3] обговорюють можливості й виклики використання електронних навчальних засобів та підкреслюють необхідність їхньої ефективної інтеграції для покращення навчання розуміння здобувачів вищої освіти. Загалом, виділяють як корисні засоби переважно симуляції, інтерактивні дошки, доповнену реальність, електронні підручники та засоби для співпраці в Інтернеті.

Отже, цифровізація відіграє багатогранну та трансформаційну роль у сучасній хімічній освіті, перетворюючи її здебільшого з теоретичної та статичної дисципліни на інтерактивне, безпечне та візуально насичене середовище.

1. Wohlfart, O., Wagner, A.L., Wagner, I. Digital tools in secondary chemistry education – added value or modern gimmicks? *Front. Educ*. 8:1197296. 2023. doi: 10.3389/feduc.2023.1197296

2. Bellou, I., Papachristos, N. M., Mikropoulos, T. A. "Digital learning Technologies in Chemistry Education: a review" in Digital technologies: Sustainable innovations for improving teaching and learning. eds. D. Sampson, D. Ifenthaler, J. M. Spector, and P. Isaías (Cham: Springer International Publishing). 2018. P. 57-80.

3. Mazzuco, A., Krassmann, A. L., Reategui, E., Gomes, R. S. A systematic review of augmented reality in chemistry education. *Rev. Educ*. 10:e3325. 2022. doi: 10.1002/rev3.3325

ВІД РЕАКЦІЇ ДО ІДЕЇ: ІСТОРИКО-НАУКОВИЙ ВИМІР УКРАЇНСЬКОЇ ХІМІЇ ЯК ДЖЕРЕЛО ПРОФЕСІЙНОГО СТАНОВЛЕННЯ МАЙБУТНІХ ХІМІКІВ

Вигівська Карина Романівна,
здобувач вищої освіти ІІ курсу другого рівня вищої освіти, karavyhi@ukr.net
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Анічкіна Олена Василівна,
кандидат педагогічних наук, доцент, anichkina-o@zu.edu.ua
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Романишина Людмила Михайлівна,
доктор педагогічних наук, професор, Romanyshyna-L@zu.edu.ua
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Історія хімічної науки в Україні – це не лише послідовність відкриттів і формул. Перш за все, це історія мислення, відданості та духу творчого пошуку, що супроводжує українську націю від Києво-Могилянської академії до сучасних лабораторій основних центрів хімічної науки та освіти. Кожна доба народжувала вчених, які не просто вивчали природу – вони розкривали її серце, намагаючись зрозуміти місце людини у світі матерії.

У цій тяглості наукової традиції втілюється патріотизм особливого ґатунку – патріотизм розуму, що виявляється у праці, вірі в інтелектуальну силу нації, у здатності перетворювати знання на добро для людини і держави.

Ще у XVII столітті, в стінах Києво-Могилянської академії, зароджувалася любов до експерименту – через філософію, медицину, алхімію. Ця зацікавленість у природі речей згодом перейшла у точну науку. У XIX столітті Харків**,** Київ**,** Львів**,** Одеса стали осередками, де хімія виростала з лабораторних дослідів до філософії матерії.

Велична постать Бекетова М.М. (1827-1911) стала символом народження фізико-хімічного мислення в Україні. Його досліди із заміщення металів у розчинах дали світові електрохімічний ряд напруг – емпіричний закон, який впорядковує метали за їхньою хімічною активністю та дозволяє прогнозувати перебіг хімічних реакцій та застосовується для розрахунку стандартних електродних потенціалів і пояснення механізмів корозії. Сьогодні кожен школяр у світі вивчає його.

Видатний хімік-органік Зелінський М.Д. (1861-1953) тривалий час працював в Одеському університеті, де очолював кафедру органічної хімії. Саме в Одесі сформувалася його наукова школа й проведено дослідження, що стали основою для відкриття активованого вугілля, яке врятувало тисячі життів під час Першої світової війни. Його роботи з органічного каталізу, хімії вуглеводнів, механізмів ароматичних реакцій мали світове значення. Зелінський виховав цілу плеяду українських і європейських хіміків, зокрема академіка Л.В. Писаржевського.

Навіть Менделєєв Д.І. (1834-1907) певний час працював під небом Харкова й саме тут, у науковій атмосфері українського університету, визрівала ідея впорядкування хімічних елементів, що згодом обернулася Періодичним законом.

XX століття стало часом великих українських відкриттів – і великих випробувань. У той час, коли країна переживала революції та війни, наука продовжувала своє служіння істині.

Яскравий мислитель Писаржевський Л.В. (1874-1938) першим заговорив про електронну природу каталізу. Він довів, що каталіз –це не «таємниця швидкої реакції», а закономірний процес перенесення електронів. Його ідеї передували сучасним концепціям квантової хімії.

Одночасно з ним працював Вернадський В.І. (1863-1945)**,** філософ і хімік, який мислив у масштабах планети. Його вчення про біосферу стало не просто науковою концепцією, а новою картиною світу: людина – не сторонній спостерігач, а активний творець хімічних

процесів у природі.

Уродженець Тернопільщини Горбачевський І.Я. (1854-1942), першим у світі синтезував сечовину з неорганічних речовин. Його експеримент став не просто відкриттям, а доказом єдності живої й неживої матерії, що змінило межі наукового світогляду.

Водночас у Львові та Празі працював Гірняк Ю.Й. (1881-1970) – дослідник фізичної і хімічної кінетики. Основні дослідження зосереджені на вивченні впливу синхронної зміни концентрації речовини на перебіг хімічної реакції.

Харківська школа розквітла в працях Бродського О.О. (1895–1969), який розвивав фізико-хімічну кінетику, хімічну термодинаміку, електрохімію розчинів та хімію ізотопів. А в Дніпрі послідовники Писаржевського Л.В. створили перші в Україні лабораторії каталізу, що працювали на потреби промисловості.

І навіть у добу ядерних досліджень українська хімія залишалася на передньому краї науки Курчатов І.В. (1903–1960), вихованець Кримського університету (нині Таврійський національний університет імені В. І. Вернадського) став одним із піонерів атомної енергетики.

Українські хіміки не лише досліджували закони природи, вони виховували нові покоління дослідників. Університетські кафедри Києва, Харкова, Львова, Одеси, Дніпра стали осередками науки й освіти, де знання передавалося не як інформація, а як етика дослідницької праці.

Віками простягається невидима нитка спадковості, що тримає українську наукову культуру. Кожен із видатних українських хіміків, працюючи у своїй лабораторії, вкладав у реакції частку власного серця, розуміючи, що наука – це не лише про речовини, а й про людську гідність і відповідальність перед світом.

Історія української хімії – це хроніка духовного опору й інтелектуальної свободи. У часи, коли держава була позбавлена незалежності, наукова думка ставала формою самозбереження нації.

Згадуючи наших учених, ми відновлюємо ланцюг спадковості, показуємо молодому поколінню, що патріотизм – це не лише слово, а й щоденна праця, відповідальна, точна, чесна. У цьому сенсі лабораторний дослід стає громадянським актом: доказом, що істина існує, якщо її шукати.

Як писав Вернадський В.І., «наука – це вияв енергії народу, що прагне зрозуміти світ і створити в ньому добро». Ці слова є заповітом усім, хто вірить у силу українського розуму, а історія хімії – не лише послідовність відкриттів і фактів, а жива пам’ять науки, у якій віддзеркалюється духовний поступ народу. Ця думка зберігає актуальність і сьогодні, коли перед сучасним студентом стоїть завдання не лише опанувати професію, а й нести у світ ім’я української науки. Для майбутніх хіміків знання історії своєї професії є тим містком, що поєднує минуле, сучасність і майбутнє науки.

У процесі професійної підготовки звернення до історико-наукових сюжетів допомагає здобувачам усвідомити закономірності розвитку наукового пізнання. Вивчаючи, як формувалися фундаментальні поняття, як змінювались уявлення про будову речовини, каталіз чи реакційні механізми, майбутній фахівець вчиться мислити логічно, системно, критично. Історія науки таким чином перетворюється на школу мислення, що вчить не стільки запам’ятовувати, скільки розуміти. Особливого значення набуває український контекст розвитку хімії, що формує у здобувачів почуття національної гідності та віри у власні можливості. Такі знання не лише розширюють кругозір, а й переконують, що українська наука є частиною світової і водночас має самобутнє обличчя.

Звернення до постатей видатних українських учених формує емоційно-ціннісне ставлення до професії. Здобувач бачить у вченому не абстрактний портрет із підручника, а живу особистість, яка мислила, сумнівалась, помилялася й перемагала. Так народжується професійна ідентичність, заснована на повазі до праці попередників і прагненні продовжити їхню справу.

Історія хімії має також потужний патріотичний потенціал. Вона навчає розуміти науку як форму служіння – не ідеології, а правді; не владі, а суспільству. Усвідомлення того, що на

українських землях формувалися наукові школи світового рівня допомагає подолати відчуття периферійності й виховує впевненість у тому, що український хімік здатен бути успішним у глобальному науковому просторі**.**

Отже, використання історії хімії у професійній підготовці майбутніх хіміків виконує потрійну функцію: пізнавальну **–** розкриває логіку розвитку наукових ідей; професійно-виховну – формує мислення дослідника; патріотичну – зміцнює віру в інтелектуальну силу України.

Таким чином, українська хімічна наука стає живою рікою, у якій поєднано геніальність, сумління й любов до Батьківщини. Історико-науковий аналіз їхньої діяльності дає не лише знання, а й натхнення. Він показує, що українська наука – не периферія світової, а її серце**,** що б'ється в унісон із найвищими досягненнями людства.

1. Brock William H. The History of Chemistry: A Very Short Introduction, Very Short Introductions. 2016. *Oxford University Press*. 176 p. https://doi.org/10.1093/actrade/9780198716488.001.0001

2. Partington J. R. History of Chemistry. 1962. Red Globe Press London. 855 p. https://doi.org/10.1007/978-1-349-00309-9

3. Arthur Greenberg. A Chemical History Tour: Picturing Chemistry from Alchemy to Modern *Molecular Science*. 2000. John Wiley and Sons Ltd. 344p. https://www.amazon.com/Chemical-History-Tour-Picturing-Chemistry/dp/0471354082/ref=books_amazonstores_desktop_mfs_aufs_ap_sc_dsk_0?_encoding=UTF8&pd_rd_w=rjNnQ&content-id=amzn1.sym.299f645c-0a78-440a-94a2-fb482e7cb326&pf_rd_p=299f645c-0a78-440a-94a2-fb482e7cb326&pf_rd_r=139-9847627-9835406&pd_rd_wg=8Hhg0&pd_rd_r=3b1761ec-ea04-47ad-9f95-125cc348d770

ФОРМУВАННЯ КРИТИЧНОГО МИСЛЕННЯ УЧНІВ У ПРОЦЕСІ ВИВЧЕННЯ ХІМІЇ

Деркач Анастасія,
здобувач вищої освіти V курсу
Полтавський національний педагогічний університет імені В. Г. Короленка,Україна

Теоретичні засади проблеми. Формування критичного мислення учнів у процесі вивчення хімії є одним із найактуальніших завдань сучасної освіти. Ми живемо в епоху інформаційного перевантаження та «постправди», коли доступ до будь-яких даних є миттєвим, але їхня достовірність часто є сумнівною. Саме сфери, що безпосередньо пов'язані з хімією, стали головною мішенню для поширення фейків, міфів та відвертих маніпуляцій. Це стосується харчової промисловості (міфи про «страшні» Е-добавки), медицини (антивакцинаторство, «чудо-ліки»), екології (теорії змов) та побутової хімії (демонізація будь-яких синтетичних речовин).

У таких умовах урок хімії перестає бути лише процесом засвоєння формул, рівнянь та теоретичних законів. Він перетворюється на унікальний тренувальний майданчик для розвитку навичок аналізу та оцінки інформації. Хімія, як експериментальна наука, вчить школярів фундаментальному принципу: «Гіпотеза → Перевірка → Висновок». Вона привчає не сприймати твердження на віру, а ставити запитання «Як це довести?», «На яких даних це ґрунтується?», «Чи є альтернативні пояснення?» [1].

Для ефективного формування критичного мислення вчитель хімії має змістити акцент від простої трансляції знань до фасилітації дослідницького процесу. Це вимагає впровадження спеціальних педагогічних умов, зокрема створення атмосфери довіри, де учень не боїться ставити «дурні» запитання, висувати власні гіпотези та помилятися. Роль вчителя полягає в тому, щоб скеровувати дискусію, а не давати готові відповіді.

На практиці це реалізується через використання широкого спектра методів. Насамперед, це технології розвитку критичного мислення (ТРКМ), адаптовані до хімічної специфіки: дебати (наприклад, «Атомна енергетика: за і проти»), кейс-метод (аналіз складу продуктів на етикетках, розбір екологічної ситуації на місцевому заводі), прийоми «Фішбоун» для аналізу причинно-наслідкових зв'язків або «Діаграма Венна» для порівняння властивостей речовин.

Ключовим інструментом залишається хімічний експеримент, але не в репродуктивному, а в проблемно-пошуковому форматі. Завдання на кшталт «Запропонуйте спосіб розрізнити три рідини без етикеток» або «Дослідіть, який пральний порошок є найефективнішим і чому» змушують учнів самостійно планувати дії, аналізувати результати, ідентифікувати можливі помилки та аргументувати свої висновки. Також надзвичайно ефективними є компетентнісні задачі, що моделюють реальні життєві ситуації, де потрібно застосувати хімічні знання для прийняття зваженого рішення [2].

У підсумку, такий підхід дозволяє виховати не просто учня, який знає формулу сульфатної кислоти, а громадянина, здатного критично оцінювати рекламу ліків, робити усвідомлений вибір продуктів у супермаркеті, відрізняти наукові факти від псевдонаукових маніпуляцій та приймати відповідальні рішення щодо власного здоров'я та довкілля. Це і є головною метою сучасної хімічної освіти [3].

Сутність та структура критичного мислення. Сутність критичного мислення полягає у здатності до цілеспрямованого, саморегульованого судження. Це не просто запам'ятовування фактів, а активний процес аналізу, синтезу та оцінки інформації. В його основі лежить не пасивне сприйняття знань, а готовність ставити під сумнів отримані дані, власні переконання та авторитетні думки, шукаючи обґрунтовані докази та логічні

зв’язки.

Структуру критичного мислення умовно поділяють на два взаємопов’язані компоненти [4]:

1. Когнітивні навички (інструменти). Це конкретні розумові операції, які учень використовує. До них належать: аналіз (розкладання інформації на складові, інтерпретація (з’ясування сенсу даних), оцінювання (визначення достовірності джерел, сили аргументів та надійності доказів), синтез (об'єднання різних ідей для створення нового знання, пояснення та аргументація (вміння чітко та логічно обґрунтувати свою позицію) та саморегуляція (здатність аналізувати власне мислення, шукати в ньому помилки та упередження).

2. Афективні диспозиції (налаштованість). Це риси характеру та психологічна готовність застосовувати навички. Без них навички залишаються пасивними. Сюди входять допитливість, інтелектуальна чесність (готовність визнати помилку), відкритість до альтернатив та наполегливість у вирішенні складних завдань.

Психолого-педагогічні особливості розвитку мислення школярів. Учні, які вивчають хімію (переважно 7-11 класи), перебувають на ключовому етапі когнітивного розвитку [5]. Згідно з теорією Жана Піаже [6], це період переходу від стадії конкретних операцій до стадії формальних операцій.

Це означає, що мислення підлітків поступово набуває нових якостей. Якщо молодші учні ще потребують опори на конкретні, відчутні об'єкти, то старшокласники стають здатними до:

3. Абстрактного мислення. Вони вчаться оперувати поняттями, які не мають фізичного втілення. Це критично важливо для хімії з її «невидимими» атомами, молекулами, іонами, поняттями «моль», «електронегативність» чи «ентальпія».

4. Гіпотетико-дедуктивного мислення. Учні розвивають здатність висувати гіпотези («А що, якщо підвищити температуру реакції?») і логічно прогнозувати можливі наслідки до того, як проведуть експеримент.

5. Комбінаторного мисленн. Вони починають систематично розглядати всі можливі варіанти вирішення проблеми, а не діяти методом спроб і помилок.

Педагогічна особливість полягає в тому, що цей перехід до формального мислення не відбувається автоматично – його потрібно активно стимулювати. Згідно з концепцією Лева Виготського [7], вчитель має працювати в «зоні найближчого розвитку» учня. Він повинен пропонувати завдання, які вимагають абстракції та логічного аналізу (наприклад, пов'язати будову атома з властивостями речовини), надаючи необхідну підтримку («скаффолдинг»), щоб допомогти учневі зробити цей крок від конкретного спостереження до абстрактного узагальнення.

Специфіка хімії як навчального предмета. Специфіка хімії як навчального предмета полягає в її унікальному поєднанні глибокої абстракції, складної знакової системи та безпосередньої практичної, експериментальної діяльності. Вона формує в учнів особливий тип наукового мислення, змушуючи їх постійно будувати містки між невидимими процесами та видимими явищами.

Найголовніша її особливість полягає в тому, що для розуміння хімії учень повинен одночасно оперувати на трьох різних рівнях. Перший – це макроскопічний рівень, тобто все, що ми бачимо очима, відчуваємо на дотик чи запах: зміна кольору розчину, виділення газу, утворення осаду. Другий – це субмікроскопічний, або абстрактний, рівень; це «невидимий» світ атомів, молекул, іонів та електронів, який пояснює, *чому* відбуваються видимі зміни. Третій – це символічний рівень, який є універсальною мовою хімії, що складається з формул, рівнянь реакцій та схем. Справжня складність і водночас унікальність предмета полягає в необхідності постійно «перекладати2 з одного рівня на інший: побачити явище, уявити його на рівні молекул і коректно записати мовою формул [8].

Іншою ключовою специфічною рисою є те, що хімія – це насамперед експериментальна наука. На відміну від багатьох інших дисциплін, де теорія є первинною, в хімії знання часто здобуваються емпірично, через досвід. Урок хімії дає унікальну можливість не просто почути про закон, а негайно перевірити його на практиці. Це привчає учнів до фундаментального циклу наукового методу: висування гіпотези, планування експерименту, ретельне спостереження, аналіз отриманих даних та формулювання обґрунтованого висновку.

Весь курс хімії пронизує чітка причинно-наслідкова логіка: «Будова → Властивості → Застосування». Учні послідовно вчаться розуміти, як саме будова речовини на мікрорівні (тип хімічного зв'язку, форма молекули, вид кристалічної ґратки) безпосередньо визначає її фізичні та хімічні властивості (такі як температура плавлення, розчинність чи реакційна здатність). А вже ці властивості, у свою чергу, диктують, де і як людина може застосовувати дану речовину. Ця логічна вісь робить хімію стрункою та прогнозованою системою знань [9].

Нарешті, специфіка хімії полягає в її «центральному» положенні серед природничих наук та її колосальній практичній значущості. Вона слугує мостом, що поєднує фізику (пояснюючи процеси з точки зору будови атома та енергії) і біологію (закладаючи основи біохімії та молекулярної біології). Водночас кожна тема курсу безпосередньо пов'язана з реальним життям учнів: їжа, ліки, паливо, сучасні матеріали, одяг та гострі екологічні проблеми. Це дозволяє формувати не лише абстрактні академічні знання, але й життєво необхідні компетентності та наукову грамотність [10].

Діагностика та оцінювання рівня сформованості критичного мислення. Діагностика та оцінювання рівня сформованості критичного мислення є одним із найскладніших завдань у педагогіці. На відміну від предметних знань, де можна легко перевірити правильність відповіді, наприклад, знання формули, критичне мислення – це динамічний процес, а не статичний результат. Тому його оцінювання має бути комплексним, систематичним і зосередженим на тому, *як* учень думає, а не лише на тому, *що* він знає [11].

Перш ніж діагностувати, потрібно чітко визначити критерії. Рівень розвитку критичного мислення проявляється у конкретних уміннях. Це, наприклад, глибина та релевантність запитань, які ставить учень: чи прагне він з’ясувати причини «Чому?», «Як?», чи обмежується поверхневими запитаннями. Важливо, чи бачить учень приховані припущення у тексті або задачі, чи вміє оцінювати достовірність джерел, відрізняючи наукову статтю від рекламного блогу. Також оцінюється якість аргументації: чи будує учень свої висновки на логіці та фактах, а не на емоціях, і чи може він відокремити об'єктивні факти від суб'єктивних думок. Ключовими показниками є розгляд альтернативних точок зору, логічність висновків та здатність до саморефлексії, тобто аналізу власного процесу мислення та визнання помилок.

Оцінювання не повинно зводитися до одного тесту. Найкраще працює комбінація методів, що застосовуються впродовж тривалого часу. Наприклад, звичайні контрольні роботи можна адаптувати, замінивши запитання на відтворення на відкриті запитання, як-от «Поясніть, чому...», «Порівняйте переваги та недоліки...» або «Спрогнозуйте, що станеться, якщо...». Дуже інформативним є аналіз письмових робіт, зокрема есе чи проєктів. Тут учитель може оцінити, як учень структурує думки, добирає аргументи та працює з джерелами. Прикладом може бути есе на тему «Чи варто заборонити фосфатні пральні порошки?», де оцінюється не «правильна» відповідь, а глибина аналізу екологічних та економічних аспектів [12].

Важливим методом є спостереження під час уроку, особливо під час дискусій, дебатів та роботи в групах. Це діагностика «в реальному часі», коли вчитель фіксує, хто ставить влучні запитання, хто шукає компроміс, а хто сліпо погоджується з лідером. У хімії незамінним є аналіз лабораторних та практичних робіт. Критичне мислення тут чудово видно по тому, як учень реагує на неочікувані результати: чи він просто ігнорує

помилку, чи намагається знайти її причину, аналізуючи власні дії.

Для комплексної діагностики також використовують кейс-метод та ситуативні задачі, де учням пропонують реальну ситуацію, наприклад, проаналізувати етикетку харчового продукту і зробити аргументований висновок про його користь чи шкоду. Щоб відстежити прогрес, ефективним є метод портфоліо, куди учень збирає зразки своїх робіт за певний період, демонструючи розвиток своїх навичок.

Для того, щоб зробити оцінювання об'єктивним, вчителі використовують спеціальні рубрики. Це чіткі шкали, які описують різні рівні прояву навички – від початкового (наприклад, «робить висновки без доказів») до високого («будує складну, логічну аргументацію, спираючись на кілька перевірених джерел»). Такі рубрики не лише допомагають вчителю в оцінюванні, але й показують учням чіткі орієнтири для розвитку [13].

Висновки. Проведене дослідження та аналіз теоретичних і методичних аспектів проблеми дозволяють зробити висновок, що формування критичного мислення учнів у процесі вивчення хімії є не просто бажаним, а нагальним і ключовим завданням сучасної освіти. Це зумовлено викликами інформаційної епохи, зокрема епохою «постправди2, де здатність аналізувати інформацію, розрізняти факти та маніпуляції, особливо у сферах, пов'язаних з хімією (медицина, екологія, харчування), стає життєво необхідною навичкою.

Теоретичний аналіз показав, що критичне мислення є складною структурою, яка поєднує когнітивні навички (аналіз, синтез, оцінювання) та афективні диспозиції (допитливість, інтелектуальну чесність). Шкільний курс хімії має унікальну специфіку для розвитку цих навичок. Практична реалізація цього завдання вимагає свідомої зміни підходів до викладання: переходу від репродуктивної моделі до проблемно-пошукової та дослідницької. Ефективними інструментами є не просто традиційні методи, а цілеспрямоване впровадження технологій розвитку критичного мислення (ТРКМ), кейс-методу, організації дебатів, розв'язування компетентнісних та ситуативних задач, а також модифікація хімічного експерименту з репродуктивного на дослідницький. Це, у свою чергу, вимагає від учителя ролі фасилітатора, а не просто транслятора знань.

Діагностика сформованості критичного мислення також має свою специфіку. Вона не може бути зведена до разового тесту, а вимагає комплексного та систематичного підходу, що включає спостереження за учнями під час дискусій та лабораторних робіт, аналіз їхніх письмових робіт (есе, проєктів) та використання відкритих запитань. Ключовим є оцінювання не стільки правильності кінцевої відповіді, скільки процесу міркування, логіки та якості аргументації.

Таким чином, інтеграція розвитку критичного мислення у викладання хімії трансформує сам предмет. Він перестає бути лише набором формул і рівнянь, а стає потужним інструментом для формування науково грамотної, медіаграмотної та раціонально мислячої особистості, здатної приймати усвідомлені рішення у складному сучасному світі. Подальші перспективи вбачаються у розробці цифрових інструментів для діагностики та розвитку цих навичок, а також у підготовці вчителів до впровадження відповідних методик.

1. Метейко А. В. Методичні рекомендації щодо навчання змісту предмета «Хімія» у 2022-2023 навчальному році. Суми : Сумський обласний інститут післядипломної педагогічної освіти, 2022. 21 с. URL: https://znayshov.com/FR/16490/8.pdf .

2. Горбач О. В. Методичні рекомендації «Використання методів розвитку критичного мислення на уроках хімії». 2023. URL: https://naurok.com.ua/metodichni-rekomendaci-vikoristannya-metodiv-rozvitku-kritichnogo-mislennya-na-urokah-himi-385719.html .

3. Паращак Н. Уроки-дослідження для формування критичного мислення на уроках хімії. Збірник методичних матеріалів. 2021. С. 106. URL: https://chem.lnu.edu.ua/wp-content/uploads/2022/03/32.pdf.

4. Flynn A. B. Principles to foster critical thinking skills and dispositions in an undergraduate physical chemistry laboratory course. *Chemistry Education Research and Practice*. 2025. Vol. 26, No. 1. P. 1-15. URL: https://pubs.rsc.org/en/content/articlehtml/2025/rp/d4rp00373j.

5. Reid N. The Johnstone Triangle: The Key to Understanding Chemistry. Cambridge : Royal Society of Chemistry, 2021. 208 c. ISBN 978-1-83916-168-1. URL: https://pubs.rsc.org/en/content/ebook/978-1-83916-168-1

6. McLeod S. Piaget's Formal Operational Stage: Definition & Examples. URL: https://www.simplypsychology.org/formal-operational.html.

7. Shabani K. Applications of Vygotsky's Sociocultural Approach for Teachers' Professional Development. *Cogent Education*. 2021. Vol. 8, No. 1. P. 1252177. DOI: 10.1080/2331186X.2016.1252177. URL: https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/2331186X.2016.1252177

8. Nkomo S., Bly A. Developing a Threshold Concept Assessment Rubric: Using the Johnstone's Triangle Framework for Understanding Intermolecular Forces. *Journal of Chemical Education*. 2024. Vol. 101, No. 11. P. 4694-4703. DOI: 10.1021/acs.jchemed.4c00236. URL: https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.jchemed.4c00236.

9. Magnone K. Q., Yezierski E. J. Applying the VisChem Approach in High School Classrooms: Chemical Learning Outcomes and Limitations. *Journal of Chemical Education*. 2024. Vol. 101, No. 3. P. 727-740. DOI: 10.1021/acs.jchemed.3c00827. URL: https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.jchemed.3c00827.

10. Midak L. Ya., Buzhdyhan Kh. V., Kuzyshyn O. V., Pahomov Yu. D., Kravets I. V. Interactive platform Wordwall within the New Ukrainian School's chemistry lessons. *CEUR Workshop Proceedings*. 2025. Vol. 4043. P. 1-10. URL: https://ceur-ws.org/Vol-4043/paper09.pdf.

11. Куриш С. М., Теренко О. П., Бичко А. О. Критичне мислення: сутність, структура та зміст поняття. *Вісник Львівського університету. Серія педагогічна*. 2023. Вип. 38. С. 189-198. URL: https://pedvisnyk.lnu.edu.ua/index.php/pedvisnyk/article/view/12037.

12. Метейко А. В. Методичні рекомендації щодо навчання змісту предмета «Хімія» у 2022-2023 навчальному році. Суми : Сумський обласний інститут післядипломної педагогічної освіти, 2022. 21 с. URL: https://znayshov.com/FR/16490/8.pdf.

13. Sukri A., Rahman S. M. Critical thinking skills of chemistry education students in team project-based STEM-metacognitive skills learning during the Covid-19 pandemic. *Journal of Technology and Science Education*. 2022. Vol. 12, No. 2. P. 397-409. DOI: 10.3926/jotse.1697. URL: https://www.jotse.org/index.php/jotse/article/view/1697

ОСОБЛИВОСТІ ОРГАНІЗАЦІЇ ДОСЛІДНИЦЬКОЇ ДІЯЛЬНОСТІ ЗДОБУВАЧІВ ОСВІТИ У ХОДІ ВИВЧЕННЯ ХІМІЇ

Жданюк Ігор Миколайович
здобувач вищої освіти І курсу другого (магістерського) рівня вищої освіти,
alenalevkovska@gmail.com
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Авдєєва Ольга Юріївна
доктор філософії, доцент кафедри, avdeeva8909@gmail.com
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Авдєєв Сергій Володимирович
старший викладач, avdeevssv@gmail.com
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Сучасна освітня парадигма характеризується суттєвою переорієнтацією: від моделі, зосередженої на передачі знань (знаннєва парадигма), до моделі, орієнтованої на розвиток здібностей та практичного застосування (компетентнісна парадигма). Впровадження дослідницько-пошукової діяльності забезпечує значні можливості для творчого розвитку здобувачів освіти та підвищення їхнього освітнього рівня, що є фундаментом для формування активної, творчої та компетентної особистості. Шкільний курс хімії надає реальні можливості для залучення учнів до такої діяльності, оскільки формування теоретичних хімічних знань органічно відбувається в єдності дослідно-експериментального і теоретичного пізнання [2].

Мета застосування дослідницької технології в навчанні хімії охоплює кілька ключових напрямів, які формують цілісний освітній досвід – це набуття учнями навичок дослідницької роботи в пізнавальній діяльності та об'єднання розвитку їхніх інтелектуальних здібностей, дослідницьких умінь і творчого потенціалу.

Для досягнення цієї мети необхідно послідовно формувати стійкий інтерес учнів до пізнання світу і дослідницької діяльності, забезпечувати високий рівень їхніх дослідницьких умінь і навичок, знання техніки та методики реалізації хімічних експериментів, а також розуміння цінності ролі досліджень в удосконаленні знань людства. Варто зазначити, що хімічний експеримент у цьому контексті виконує різноманітні дидактичні функції, інтегруючись із різними методами і засобами навчання.

У методиці навчання хімії дослідницька діяльність учнів визначається як особливий вид інтелектуально-творчої діяльності пошукового характеру, що здійснюється відповідно до вимог наукового дослідження і спрямована на оволодіння необхідними знаннями та вміннями, відкриття невідомих учням фактів, знань і способів дій.

Організація дослідницької діяльності підпорядковується принципу поступової самостійності учнів. Хімічний експеримент розглядається як система, де складність та самостійність у ході проведення дослідження зростають: від демонстрації явищ, через проведення фронтальних лабораторних дослідів, до самостійної роботи під час виконання практичних робіт, розв'язування експериментальних задач із хімії, і, зрештою, до виконання навчальних проєктів і домашнього експерименту.

Дослідницька діяльність у процесі навчання хімії передбачає активну пізнавальну роботу здобувачів освіти, спрямовану на самостійне відкриття нових знань через спостереження, експеримент, аналіз і узагальнення результатів. Вона сприяє розвитку логічного та критичного мислення, формуванню наукового світогляду, умінню робити висновки на основі отриманих даних [1].

У процесі виконання дослідницьких завдань учні не лише засвоюють навчальний матеріал, а й набувають навичок планування експерименту, постановки проблеми, висунення гіпотез дослідження, пошуку робочої гіпотези, проведення дослідів і аналізу результатів. Це

забезпечує розвиток ключових компетентностей – пізнавальної, комунікативної, інформаційної та соціальної.

Ефективна організація дослідницької діяльності потребує системного підходу з боку викладача. Важливо не лише забезпечити учнів необхідним обладнанням і матеріалами, а й створити **мотиваційне середовище**, у якому пізнавальна активність і самостійність стають провідними чинниками навчання.

Доцільно використовувати такі форми роботи, як:

- **міні-дослідження** на уроці (короткі експерименти з подальшим обговоренням);
- **проєктна діяльність**, коли здобувачі освіти самостійно обирають тему, планують і презентують результати навчального проєкту;
- **вирішення проблемних ситуацій** і хімічних задач, що вимагають пошуку шляхів розв'язання;
- **використання віртуальних лабораторій та симуляцій**, які дають змогу безпечно проводити досліди, що складно або неможливо виконати в умовах шкільного кабінету хімії.

В даному випадку вчитель виступає не лише джерелом інформації, а насамперед – о**рганізатором і наставником** у процесі дослідження. Його завдання полягає в тому, щоб допомогти учням сформулювати мету та завдання експерименту, спрямовувати їхню діяльність, мотивувати до самостійних висновків і рефлексії.

Таким чином, участь у дослідницькій діяльності сприяє формуванню в здобувачів освіти наукового мислення, відповідальності за результати своєї роботи, уміння працювати в команді, аналізувати отримані дані й аргументовано захищати власну позицію. Такі навички є необхідними не лише для вивчення хімії, а й для подальшої професійної діяльності в різних галузях.

Отже, дослідницька діяльність на уроках хімії є важливим засобом розвитку пізнавальної активності, творчості та критичного мислення здобувачів освіти. Її ефективна організація потребує поєднання традиційних і сучасних методів навчання, використання цифрових технологій, а також створення атмосфери співпраці та наукового пошуку. Саме через дослідження хімія перетворюється для учнів із «теоретичної дисципліни» на **живу науку**, що допомагає зрозуміти закони природи й відчути себе частиною наукового світу.

1. Анічкіна О. В., Авдєєва О. Ю., Євдоченко О. С., Камінський О. М., Писаренко С. В., Чумак В. В. Хімічний експеримент у школі та вдома: навчальний посібник. Житомир : Вид-во ЖДУ ім. І. Франка, 2024. 386 с.

2. Модельна навчальна програма «Хімія. 7–9 класи» для закладів загальної середньої освіти (авт. Григорович О. В.) / рекомендовано Міністерством освіти і науки України (наказ МОН від 29.12.2023 № 1575). URL: https://mon.gov.ua/static-objects/mon/sites/1/zagalna%20serednya/Navchalni.prohramy/2023/Model.navch.prohr.5-9.klas/Pryrodnycha.osvitnya.haluz.2023/Khimiya.7-9.klas.Hryhorovych.29.12.2023.pdf (дата звернення: 08.10.2025).

МУЛЬТИМЕДІЙНІ ЗАСОБИ ЯК ІНСТРУМЕНТ АКТИВІЗАЦІЇ ПІЗНАВАЛЬНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ В ХОДІ ВИВЧЕННЯ ХІМІЇ

Зозуля Ілона Ігорівна,
здобувач вищої освіти ІІ курсу другого (магістерського) рівня вищої освіти,
ilarianedviga2602@ukr.net
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Авдєєва Ольга Юріївна
доктор філософії, доцент, avdeeva8909@gmail.com
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Сучасна вища освіта орієнтована на активізацію пізнавальної діяльності здобувачів, розвиток критичного мислення та формування професійних і дослідницьких компетентностей. У цьому контексті умовах мультимедійні технології стають ефективним засобом реалізації інтерактивного, особистісно-зорієнтованого та практико-спрямованого навчання, сприяючи підвищенню ефективності освітнього процесу.

Хімія, як експериментальна наука, потребує візуалізації складних процесів, що відбуваються на мікрорівні. Традиційні методи подання матеріалу не завжди забезпечують належну наочність, тому використання мультимедійних засобів дозволяє поєднати теорію з практикою, зробити навчальний процес динамічним і доступним для розуміння здобувачів вищої освіти.

Мультимедіа – це поєднання тексту, зображень, відео, звуку, анімації та інтерактивних елементів, які сприяють різнобічному сприйняттю інформації. У процесі вивчення хімії мультимедійні ресурси виконують не лише ілюстративну, а й дослідницьку функцію, допомагаючи моделювати процеси, які складно або неможливо продемонструвати у звичайних лабораторних умовах [1, 2].

Застосування інтерактивних симуляцій і віртуальних лабораторій (PhET Interactive Simulations, ChemCollective, LearnChemE тощо) сприяє розвитку аналітичного мислення, дослідницьких умінь і самостійності студентів. Таким чином, здобувачі вищої освіти можуть змінювати параметри хімічних експериментів, аналізувати результати, робити висновки та формувати власні гіпотези, що стимулює пізнавальний інтерес і професійне мислення майбутніх фахівців [3].

Тривимірні моделі атомів, молекул, кристалічних решіток, відео- та анімаційні фрагменти реакцій допомагають краще зрозуміти складні процеси, що відбуваються у ході вивчення тем: «Хімічні реакції», «Будова речовини», «Кислотно-основні взаємодії» тощо.

Нами проаналізовано літературні джерела та визначено основні мультимедійні ресурси, ефективні у навчанні хімії в закладі вищої освіти:

- PhET Interactive Simulations – віртуальні лабораторії для моделювання хімічних реакцій, кислотності, електролітів, газових законів;
- Prezi, Canva, Genially – створення інтерактивних презентацій для пояснення теоретичного матеріалу;
- YouTube, Edpuzzle – відеоуроки та демонстрації дослідів із вбудованими тестовими елементами;
- Kahoot!, Quizizz, Mentimeter – інтерактивне опитування та миттєвий зворотний зв’язок під час лекцій;
- Google Classroom, Moodle – інтеграція навчальних ресурсів для організації дистанційного та змішаного навчання [4].

Таким чином, мультимедійні технології у вищій освіті є потужним засобом активізації пізнавальної діяльності здобувачів, формування їхньої професійної мотивації, розвитку творчого й критичного мислення. Поєднання мультимедіа з традиційними методами викладання хімії забезпечує високий рівень засвоєння знань, підвищує ефективність

самостійної роботи та сприяє підготовці конкурентоспроможних фахівців природничого профілю.

1. Морзе Н. В., Варченко-Троценко Л. О. Цифрові інструменти для організації інтерактивного навчання. Київ: КНУ імені Т. Шевченка, 2021. 98 с.

2. Кухар Л. П., Сидоренко Н. В. Використання мультимедійних технологій у навчанні хімії: методичні рекомендації. Харків: Основа, 2020. 48 с.

3. PhET Interactive Simulations [Електронний ресурс]. University of Colorado Boulder. URL: https://phet.colorado.edu

4. UNESCO. ICT in Education: A Curriculum for Schools and Programme of Teacher Development. Paris: UNESCO, 2011. 96 p.

ЦИФРОВІ ІНСТРУМЕНТИ ЯК ЗАСІБ УДОСКОНАЛЕННЯ ВИКЛАДАННЯ ХІМІЇ В ЗАКЛАДІ ВИЩОЇ ОСВІТИ

Іванюк Дар'я Русланівна
здобувач вищої освіти ІІ курсу другого (магістерського) рівня вищої освіти
ivanukdarina@gmail.com
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Авдєєва Ольга Юріївна
доктор філософії, доцент, avdeeva8909@gmail.com
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Анічкіна Олена Василівна
кандидат педагогічних наук, доцент, eva_kvitka@meta.ua
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

У контексті активної цифровізації освітнього простору зростає необхідність упровадження сучасних технологічних рішень, здатних забезпечити якісне засвоєння навчального матеріалу й розвиток професійних компетентностей майбутніх фахівців. Хімічна освіта, будучи експериментальною за своєю природою, потребує використання інтерактивних засобів навчання, які поєднують теоретичні знання з практичною діяльністю та сприяють формуванню дослідницьких, аналітичних і креативних умінь студентів. Саме цифрові інструменти стають ключовим чинником модернізації викладання хімії у закладах вищої освіти, адже вони створюють нові можливості для візуалізації, моделювання та самостійного опанування навчального матеріалу. Завдяки розвитку нанотехнологій та матеріалознавства з'явилася можливість цілеспрямовано створювати сполуки з прогнозованими властивостями та високою стабільністю у природних системах [1-2].

Використання цифрових технологій у процесі вивчення хімії сприяє підвищенню мотивації, формуванню глибшого розуміння матеріалу та розвитку критичного мислення. Цифрові симулятори, інтерактивні візуалізації, платформи для моделювання реакцій, відеолабораторії та системи штучного інтелекту дозволяють студентам досліджувати складні явища в доступній формі. Зокрема, цифрові середовища навчання забезпечують можливість індивідуалізації освітнього процесу, коли кожен здобувач освіти може працювати у власному темпі та повторювати експерименти без обмежень у часі чи матеріалах [3].

Одним із найефективніших цифрових інструментів у сучасній хімічній освіті є віртуальна лабораторія Labster. Це інтерактивна онлайн-платформа, що імітує роботу реальної хімічної лабораторії у тривимірному середовищі. Labster дозволяє здобувачам вищої освіти проводити експерименти, спостерігати за перебігом реакцій, вивчати будову молекул, властивості речовин, а також аналізувати результати у реальному часі. Усі симульовані експерименти супроводжуються теоретичними поясненнями, завданнями для самоперевірки та аналітичними тестами [4].

Педагогічна цінність Labster полягає в її інтеграції з принципами конструктивістського навчання: студент не просто спостерігає за процесом, а активно взаємодіє з об'єктами, обґрунтовує гіпотези та робить висновки. Дослідження показують, що використання Labster підвищує рівень розуміння хімічних понять і сприяє формуванню наукового мислення [3–4]. Крім того, платформа дозволяє викладачам відстежувати прогрес студентів і створювати індивідуальні траєкторії навчання. Окреме місце посідають матеріали природного або біогенного походження, одержані за допомогою ферментативного чи мікробіологічного синтезу. Такі наноструктури мають біосумісність, не накопичуються в природі та можуть бути відновлені після використання. Поєднання хімічних і біотехнологічних методів дозволяє створювати матеріали, здатні до саморегенерації або фоточутливої дії [5].

Важливою перевагою Labster є її інклюзивність і доступність. Здобувачі вищої освіти

можуть працювати з будь-якого пристрою – ноутбука, планшета або смартфона – у будь-якому місці. Це забезпечує безпечне середовище для навчання, де ризик неправильного виконання експерименту усувається, а результати залишаються науково достовірними. За результатами закордонних досліджень, студенти, які навчались із використанням Labster, показали на 30–40 % вищі результати при перевірці знань порівняно з традиційними лабораторними заняттями [5].

Таким чином, використання цифрових інструментів у викладанні хімії – це не просто технологічне оновлення освітнього процесу, а зміна його парадигми. Інтерактивні платформи, такі як Labster, поєднують наукову достовірність із педагогічною ефективністю, сприяючи розвитку дослідницької культури, самостійності та аналітичного мислення майбутніх фахівців-хіміків. Подальше впровадження таких технологій дозволить підвищити якість вищої хімічної освіти та зробити її більш адаптивною до потреб сучасного інформаційного суспільства.

1. Arpita Roy, Apoorva Sharma, Saanya Yadav, Leta Tesfaye Jule, Ramaswamy Krishnaraj. Nanomaterials for Remediation of Environmental Pollutants. *Bioinorganic Chemistry and Applications.* 2021. doi: 10.1155/2021/1764647

2. Кунтий О.І., Буклів Р.Л., Бойко Ю.В., Гребень Т.В., Лисенко А.В. Наноматеріали та нанотехнології в очищенні води: огляд. *Chemistry, technology and application of substances.* 2018, №1(1). С. 27-37. https://doi.org/10.23939/ctas2018.01.027

3. Komárek M. Perspectives of soil nanoremediation: the case of nano zerovalent iron and metal(loid) contaminants. *npj Mater. Sustain.* 2024. **2**, 8. https://doi.org/10.1038/s44296-024-00013-z

K. P. Gopinath, N. V. Madhav, A. Krishnan, R. Malolan, G. Rangarajan. Present applications of titanium dioxide for environmental remediation: A review. *Journal of Environmental Management.* 2020. V 270, P. 110906 https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110906

5. Makransky G., Terkildsen T. S., Mayer R. E. Adding immersive virtual reality to a science lab simulation causes more presence but less learning. Learning and Instruction. 2019. Vol. 60. P. 225–236.

ІНТЕГРАЦІЯ ЦИФРОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ У ПРОЦЕС ВИКЛАДАННЯ ХІМІЇ В ЗАКЛАДІ ВИЩОЇ ОСВІТИ

Качан Владислав Юрійович,
здобувач другого (магістерського) рівня вищої освіти ІІ курсу pro100vlad.ka007@gmail.com
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Авдєєва Ольга Юріївна,
доктор філософії, доцент, avdeeva8909@gmail.com
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Інтеграція новітніх технологій у викладання хімії є ключовим чинником підвищення якості навчального процесу в закладах вищої освіти. Інтерактивні та цифрові інструменти, такі, як освітні ігри, віртуальні симулятори та платформи для моделювання, стають потужними засобами для візуалізації складних хімічних процесів чи понять. Упровадження інноваційних технологій сприяє кращому засвоєнню матеріалу та значному підвищенню залученості здобувачів у освітній процес, а також розвитку навичок експериментальної роботи в безпечному цифровому середовищі [1], що є досить актуальним під час пандемії та на прифронтовій території України.

Однією з найбільших переваг цифрових технологій є можливість проведення лабораторних робіт у віртуальному середовищі. Онлайн платформи такі, як Virtual Labs, PhET Interactive Simulations та ChemCollective дозволяють здобувачам виконувати експерименти в домашніх умовах та ті, які неможливо провести у закладі вищої освіти через брак обладнання, реактивів або через потенційну небезпеку. Наприклад, здобувачі можуть без перешкод працювати з віртуальними лугами, кислотами, специфічними речовинами, проводити реакції безмежну кількість разів, працювати зі складним обладнанням. Такий досвід дає не лише практичні навички роботи з обладнанням, реактивами та посудом, але й дозволяє поглиблено вивчати та розуміти суть хімічних процесів, які відбуваються у ході проведення експерименту в хімічній лабораторії [2].

Оскільки одним із аспектів хімії як природничої науки є вивчення будови та складу молекул та побудови їх структурних формул, неможливо на сучасному етапі розвитку суспільства обійтись без інструментів для моделювання та візуалізації, наприклад, для 3D-моделювання молекул такі програми як MolView, Avogadro, ChemDraw, HyperChem, надають можливість досліджувати та створювати тривимірні структури молекул, аналізувати довжини зв’язків. Така практична взаємодія перетворює абстрактні формули з підручника на стійкі просторові уявлення про будову речовини [3].

Також в умовах сьогодення використовується безліч інтерактивних освітніх платформ і мобільних додатків за допомогою яких полегшується вивчення та засвоєння матеріалу. Такі освітні платформи як Quizlet, Kahoot!, Learningapps.org, Wordwall, Google форми дають змогу створювати інтерактивні завдання, тести та вікторини в режимі реального часу. За допомогою даних платформ здобувачі можуть перевіряти свої знання з хімічних дисциплін у ігровій формі. Periodic Table від Royal Society of Chemistry є мобільним додатком який миттєво надає доступ до інформації про всі хімічні елементи, історію відкриття, властивості тощо [4].

Упровадження інтерактивних і цифрових інструментів у процес викладання хімії є не лише рекомендацією для закладу вищої освіти, а й обов’язковим компонентом сучасної освіти

та вимогою часу, оскільки вони мають ряд переваг і допомагають подолати розрив між практикою та теорією, роблячи навчання більш цікавим і наочним.

Таким чином, використання гейміфікованих освітніх платформ, віртуальних лабораторій і технологій 3D-моделювання сприяє формуванню активної пізнавальної діяльності здобувачів вищої освіти, підвищує їх мотивацію до навчання, стимулює самостійний пошук рішень і творче мислення. Завдяки інтерактивним можливостям таких ресурсів, здобувачі не лише глибше розуміють сутність хімічних явищ і процесів, а й набувають практичних умінь моделювання хімічних експериментів, що підвищує ефективність, наочність і розуміння хімії як природничої науки.

1. Калінін О. В. Інноваційні методи викладання природничих наук у вищій школі. Збірник наукових праць «Педагогіка вищої школи». 2020. № 5. С. 35-42.

2. Doliyev, G. A. The use of modern innovative technologies in teaching the chemistry of complex compounds. *American Journal of Research in Humanities and Social Sciencesm*. 2023. Т. 17. С. 1-6. 2832-8019. URL: https://americanjournal.org/index.php/ajrhss/article/view/1290

3. Matthew T. Fontana. Gamification of ChemDraw during the COVID-19 Pandemic: Investigating How a Serious, Educational-Game Tournament (Molecule Madness) Impacts Student Wellness and Organic Chemistry Skills while Distance Learning. *Journal of Chemical Education*. 2020. Т 97. № 9. 3358-3368.

4. Byusa E., Kampire E., Mwesigye A. R. Game-based learning approach on students' motivation and understanding of chemistry concepts: A systematic review of literature. *Heliyon*. 2022. Т. 8, № 5. e09541. URL: https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e09541.

ТЕМА ЗАБРУДНЕННЯ ПОВІТРЯ В ОСВІТІ 5-6 КЛАСІВ

Кирпа Брігітта Ігорівна,
здобувач вищої освіти ІІІ курсу, kirpa.brigitta.b23tt@kmf.org.ua
Закарпатський угорський університет імені Ференца Ракоці ІІ, Україна

Філеп Михайло Йосипович,
кандидат хімічних наук, старший дослідник, filep.mihaly@kmf.org.ua
Закарпатський угорський університет імені Ференца Ракоці ІІ, Україна

В останні десятиліття екологічні проблеми, зокрема забруднення повітря та спричинені ним кліматичні зміни, стали одним із центральних питань глобальної освітньої політики та педагогічної науки [1]. Освітні системи відіграють ключову роль у формуванні світогляду та ціннісних орієнтацій, необхідних для сталого розвитку, адже основи екологічно свідомої поведінки закладаються ще в дитинстві. Метою даного дослідження є висвітлення еволюції змісту та методики екологічного виховання в Україні у традиційній освітній моделі (1991–2017 рр.) та після впровадження реформи «Нової української школи» (НУШ), з особливим акцентом на відображенні теми забруднення повітря в природничих дисциплінах.

Дослідження базується на якісній методології, що охоплює контент-аналіз навчальних програм, підручників і методичних рекомендацій з природознавства та географії для 5–6 класів, а також їх порівняння з попередніми навчальними документами. Мета аналізу полягала у виявленні змін у навчальному змісті, педагогічних підходах і навчальній діяльності учнів під впливом реформи та оцінці впливу цих змін на ефективність екологічного виховання.

Структура старої української освітньої системи значною мірою визначалася радянською спадщиною: навчання було централізованим і вчитель-центричним, з акцентом на передачу енциклопедичних знань та фронтальне навчання. Оцінювання учнів здебільшого здійснювалося у підсумковій формі, надаючи перевагу теоретичним знанням над практичними навичками й розвитком компетентностей. Природничі предмети – особливо природознавство (5 клас) і географія (6 клас) – лише побіжно торкалися проблеми забруднення повітря. Основна увага приділялася складу повітря та його фізичним властивостям, тоді як антропогенні фактори забруднення й екологічні наслідки розглядалися лише поверхово. Учні мали обмежені можливості для активної участі, експериментальної діяльності та самостійних висновків.

Запровадження після 2017 року програми НУШ стало системною зміною в освітньому підході. Основою реформи є компетентнісний, студентоцентричний підхід, що надає перевагу активній участі, проєктній діяльності та набуттю практичного досвіду [2]. У природничій освіті акцент робиться на розвитку екологічних і природоохоронних компетентностей, інтеграції принципів сталого розвитку та безперервного навчання. Учні не лише здобувають знання про екологічні проблеми, а й набувають умінь аналізувати їх причини, наслідки та розробляти відповідальні рішення.

Розроблені в межах дослідження приклади навчальних занять, зокрема урок «Забруднення повітря – причини та шляхи вирішення» для 5 класу, ілюструють можливості впровадження екологічної освіти в навчальний процес. Під час заняття учні досліджують джерела забруднення, види шкідливих речовин і можливі способи їх зменшення (Рис.1). Педагогічна модель поєднує методи спостереження, наочності, групової роботи та дискусії, сприяючи розвитку комунікативних навичок, аргументації та емоційної залученості. Додаткові заняття – наприклад, «Забруднення повітря: розрахунки та спостереження в польових умовах» – знайомлять учнів із базовими етапами наукового дослідження через вимірювання, збір даних і їх аналіз, формуючи наукове мислення та відповідальне ставлення до довкілля.

Рис. 1. Схема уроку «Забруднення повітря – причини та шляхи вирішення»

Аналіз показав, що у межах концепції НУШ тема забруднення повітря більше не є ізольованою частиною навчального матеріалу, а пов'язується з ширшими виховними цілями — формуванням відповідального громадянства та сталого способу життя. Упровадження компетентнісного навчання створює умови для поглиблення теоретичних знань через практичний досвід, розвиваючи критичне мислення, уміння розв'язувати проблеми та працювати в команді. Ключовим елементом нової системи є підвищення автономії вчителя та методичної свободи, що перетворює педагога на активного інноватора, а учня — на учасника процесу створення знань [3].

Узагальнюючи, дослідження засвідчує, що програма «Нової української школи» є суттєвим кроком уперед у розвитку екологічної освіти. Реформа не лише модернізувала зміст навчальних програм, а й трансформувала саму філософію освіти: орієнтація на учня, навчання через досвід та міждисциплінарний підхід забезпечують більш ефективну реалізацію цілей сталого розвитку. Викладання теми забруднення повітря є одним із найважливіших напрямів цієї нової системи, оскільки сприяє формуванню екологічної ідентичності, критичного мислення та відповідальної поведінки молодого покоління. Таким чином, освіта стає не лише засобом передачі знань, а й потужним інструментом формування майбутнього у контексті екологічних викликів.

1. Zhang X., Jung W., Asari M. Systematic Review of environmental education teaching practices in schools: trends and gaps (2015–2024). *Sustainability*. 2025. V. 17. 8561.

2. Біляковська О.О., Біницька К.М. Студентоцентрований підхід як нова парадигма якості освітнього процесу у закладах вищої освіти. *Гуманітарний форум*, 2023. 1(1). С. 10–15.

3. Софій Н.З., Онопрієнко О.В., Найда Ю.М., Пристінська М.С., Большакова І.О. Нова українська школа: порадник для вчителя. К.: Літера ЛТД, 2018. 160 с.

ІНКЛЮЗИВНА ХІМІЧНА ОСВІТА ЯК ПРОСТІР РОЗВИТКУ ПІЗНАВАЛЬНОЇ АКТИВНОСТІ ТА НАУКОВОЇ КУЛЬТУРИ УЧНЯ

Ковальчук Наталія Дмитрівна,
здобувач вищої освіти І курсу другого рівня вищої освіти, kovalnataua@ukr.net
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Анічкіна Олена Василівна,
кандидат педагогічних наук, доцент, anichkina-o@zu.edu.ua
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Сучасна українська школа дедалі активніше реалізує принципи інклюзивної освіти, що передбачає створення рівних можливостей для здобуття якісної освіти кожною дитиною незалежно від особливостей психофізичного розвитку [4]. У контексті природничо-наукової освіти, зокрема хімії, це завдання є надзвичайно складним, оскільки поєднує абстрактний характер предмета, необхідність дотримання техніки безпеки та потребу візуалізації невидимих процесів.

Інклюзивне навчання хімії спрямоване не лише на забезпечення доступу до навчального змісту, а й на створення умов для розвитку пізнавальних інтересів, формування наукової культури, соціальної адаптації та емоційного комфорту учнів. Такий підхід узгоджується із засадами Концепції «Нова українська школа» та державної політики у сфері інклюзії, де наголошено на рівному доступі до освіти, партнерстві, індивідуалізації та компетентнісному підході.

Мета дослідження. Обґрунтувати теоретико-методичні засади організації інклюзивного навчання хімії у закладах загальної середньої освіти, спрямованого на забезпечення рівного доступу до якісної природничої освіти, розвиток когнітивних процесів, пізнавальної активності та соціальної інтеграції учнів з особливими освітніми потребами.

Основними завданнями дослідження було: проаналізувати психолого-педагогічні та методичні основи інклюзивного навчання у природничо-науковій освіті; визначити оптимальні шляхи адаптації змісту, форм і методів навчання хімії для учнів з особливими освітніми потребами; розкрити роль когнітивно-розвивальних технологій у формуванні пізнавальної самостійності учнів; розробити рекомендації щодо організації практичних і лабораторних занять у доступному й безпечному форматі.

Інклюзивна методика навчання хімії базується на поєднанні гуманістичного, компетентнісного, діяльнісного та контекстного підходів [5, 6]. Відповідно до гуманістичної парадигми, головною умовою навчання є створення атмосфери довіри, підтримки та прийняття. Учень із особливими освітніми потребами розглядається не як об’єкт допомоги, а як активний суб’єкт пізнання, здатний до наукового відкриття у власному темпі, проте реалізуючи спільну діяльність [1, 3].

Компетентнісний підхід визначає головним результатом освіти не накопичення знань, а формування здатності застосовувати їх у реальних життєвих ситуаціях. У хімії це означає розвиток природничо-наукової грамотності, критичного мислення та навичок безпечного поводження з речовинами.

Діяльнісний підхід орієнтує на практичну активність учнів. У межах інклюзивного навчання цей принцип реалізується через адаптовані лабораторні та проєктні роботи. Учні з різними потребами залучаються до спільного експерименту відповідно до своїх можливостей: одні виконують прості маніпуляції, інші – спостереження, фіксацію результатів, коментування та ілюстрування процесу.

Контекстний підхід забезпечує зв’язок навчання з життєвими ситуаціями. Ужиткові теми хімії – «Чиста вода», «Хімія харчових продуктів», «Побутова хімія», формують у школярів екологічну свідомість, відповідальне ставлення до споживання та власного здоров’я.

Важливу роль відіграє розвиток когнітивних процесів: уваги, мислення, пам’яті, уяви.

Для цього доцільно використовувати вправи на пошук закономірностей, складання логічних ланцюгів реакцій, виявлення помилок у формулах, побудову візуальних схем або тактильних моделей молекул. Такі завдання одночасно тренують інтелектуальні здібності й підтримують пізнавальний інтерес учнів із затримкою психічного розвитку або порушеннями мовлення.

З метою підвищення залученості використовуються методи сторітеллінгу, інтерактивні технології, гейміфікація, що знижують рівень тривожності й стимулюють емоційну включеність у процес навчання.

Ефективне інклюзивне навчання хімії передбачає системну диференціацію навчальних завдань:

- за рівнем складності (варіативні задачі, покрокові інструкції, індивідуальні консультації);
- за формою сприйняття інформації (візуальна, аудіальна, тактильна);
- за способом контролю (усна відповідь, тест, схематичне пояснення, спостереження, ілюстрація).

У практиці успішно зарекомендували себе адаптовані лабораторні роботи, наприклад «Отримання емульсії (майонезу)», «Очищення води фільтруванням», мають значні можливості для об'єднання учнів різного рівня підготовки у спільну діяльність. Такі завдання реалізують соціалізуючу функцію освіти, розвивають комунікативні та дослідницькі навички.

Для учнів із порушеннями слуху ефективним є дублювання інструкцій у письмовій формі; для учнів із порушеннями зору – використання збільшеного шрифту, контрастних кольорів, тактильних моделей. Учням із труднощами концентрації уваги доцільно пропонувати короткі покрокові завдання та відеоекспременти.

В умовах цифровізації освіти важливим інструментом є використання віртуальних лабораторій PhET [2], YouTube-каналів освітнього спрямування, що дає змогу безпечно відтворювати хімічні процеси та формувати візуальне мислення базуючись на значній цікавості та залученості учнів із різними освітніми потребами.

Ефективність інклюзивного навчання забезпечується міждисциплінарними підходами (STEM, STEAM), які поєднують хімію з фізикою, біологією, математикою, технологіями та мистецтвом. Така інтеграція створює умови для варіативності сприйняття й розвитку творчих здібностей.

Необхідною передумовою успіху є узгоджена робота команди супроводу, особливо налагоджена командна робота вчителя, асистента вчителя, батьків. Така співпраця дає змогу не лише адаптувати навчальні матеріали, а й відстежувати емоційний стан, прогрес і потреби кожного учня.

Інклюзивне навчання хімії є складовою стратегії гуманізації сучасної освіти. Його успішна реалізація можлива за умов поєднання індивідуалізованого підходу, когнітивного розвитку, емоційно підтримувального середовища та диференційованих методик навчання.

Запровадження адаптованих лабораторних і проєктних завдань, використання цифрових інструментів і STEM-інтеграції створюють умови для формування природничо-наукової грамотності, дослідницького мислення та соціальної компетентності всіх учнів, незалежно від освітніх потреб.

1. Easa E., Blonder R. Fostering inclusive learning: Customized kits in chemistry education and their influence on self-efficacy, attitudes and achievements. *Chemistry Education Research and Practice.* 2024. Issue 4, p. 1175-1196. https://doi.org/10.1039/D4RP00144C
2. PhET Interactive Simulations. *University of Colorado Boulder.* [Електронний ресурс]. https://phet.colorado.edu
3. The training of the Chemistry teacher for inclusive education. *Research, Society and Development.* 2023. v. 12, n. 1, p. e16412139329. DOI: 10.33448/rsd-v12i1.39329.
4. UNESCO. *Inclusive education: the way of the future.* Paris: UNESCO, 2019.

5. Наконечна Л. Н. Сучасні концепти інклюзивного навчання у дослідженнях північноамериканських та українських вчених. *Освіта осіб з особливими потребами: шляхи розбудови.* 2021. 1(14), 129-134. https://doi.org/10.33189/epsn.v1i14.48

6. Хмель, Н. та Шпирка, З. 2025. Вивчення хімії в школі: разом долаємо виклики. *Вісник Прикарпатського національного університету імені Василя Стефаника* . 12, 1, 151-160. DOI:https://doi.org/10.15330/jpnu.12.1.151-160.

ІННОВАЦІЙНІ ПІДХОДИ ДО ВИКЛАДАННЯ ОРГАНІЧНОЇ ХІМІЇ У ПІДГОТОВЦІ ФАХІВЦІВ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Ковшун Лідія Олександрівна
доктор технічних наук, професор, професор кафедри загальної, органічної та фізичної хімії, kovshunlidiia@nubip.edu.ua
Національний університет біоресурсів і природокористування України, Україна

Хижан Олена Ісаївна
кандидат хімічних наук, доцент, доцент кафедри загальної, органічної та фізичної хімії, olenakhyzhan@nubip.edu.ua
Національний університет біоресурсів і природокористування України, Україна

Хижан Анастасія Олександрівна
здобувач вищої освіти V курсу, akhyzhan@gmail.com
Національний університет біоресурсів і природокористування України, Україна

Нестерова Катерина Андріївна,
доктор філософії (PhD), nesterova.kat11@gmail.com
Національний університет біоресурсів і природокористування України, Україна

Європейські стандарти безпечності та якості харчових продуктів зумовлюють модернізацію, вдосконалення існуючих та впровадження нових технологій виробництва конкурентоспроможної продукції харчової промисловості. Розвиток інноваційних продуктів вимагає також трансформації змісту фундаментальних дисциплін, зокрема органічної хімії, та застосування сучасних інноваційних методик навчання для формування професійної компетентності майбутніх технологів.

Органічна хімія є базовою дисципліною у підготовці технологів харчової продукції. Такий курс формує у студентів розуміння хімічних процесів, що відбуваються під час виробництва, зберігання та переробки харчових продуктів, а також знання про структуру, властивості й реакційну здатність органічних речовин. Тому актуальним є удосконалення методики викладання органічної хімії у вищій школі із використанням електронних освітніх ресурсів і дистанційних технологій.

Сучасні дослідження в галузі педагогіки хімії, зокрема роботи Т. Деркач, вказують, що для ефективного засвоєння студентами знань з хімії важливе формування комплексних когнітивних структур. Визначальним чинником зацікавленості студентів і ефективності навчання виступає інтегрованість та диференційованість цих структур у процесі хімічної діяльності. Особливість мислення студента полягає у здатності застосовувати цілісний підхід до вивчення речовин, швидко переходити від спостережень на макрорівні до аналізу на мікрорівні та теоретичного опису хімічних процесів. Такий підхід дозволяє сформувати у студентів професійне мислення та глибоке розуміння складних хімічних процесів [1].

У [2] роботі наголошено на важливості формування експериментальних умінь як складової професійної компетентності та обґрунтовано саме потребу індивідуалізації набуття студентами первинного професійного досвіду ще під час навчання. Підкреслено необхідність ресурсного забезпечення вищої школи для організації індивідуалізованого навчання експериментальних навичок, що формують професійну компетентність фахівців. Цифрові технології фактично не можуть замінити живий контакт викладача та студента, тому важливо поєднувати традиційні методи навчання з сучасними цифровими інструментами. Їх ефективне використання підвищує якість підготовки студентів і формує необхідні професійні навички. Використання електронних платформ у освітньому процесі дозволяє викладачам публікувати навчальні матеріали, завдання та інші ресурси, що забезпечує студентам доступ до них у будь-який зручний час для них і з будь-якого місця. Платформи Moodle, Blackboard, Canvas та інші,

сприяють гнучкості навчання та підтримують дистанційний формат освіти. Віртуальні лабораторії створюють безпечне онлайн-середовище для проведення експериментів та досліджень, що розширює можливості практичної підготовки студентів і дозволяє оптимізувати організацію лабораторних занять [3].

Дистанційний курс «Органічна хімія» для фахівців харчової галузі створено на базі платформи Moodle, яка дозволяє організувати навчальний процес із використанням структурованих електронних матеріалів, тестів, форумів та інтерактивних завдань. Курс орієнтований виключно на студентів спеціальності «Харчові технології» і спрямований на формування фахових компетентностей, пов'язаних із розумінням перетворень органічних речовин.

Використання дистанційного курсу сприяє підвищенню якості навчання, розвитку цифрової компетентності, формуванню практичних навичок і професійного мислення. Поєднання очного та дистанційного форматів дозволяє зробити освітній процес більш гнучким, доступним і результативним. Подальший розвиток поєднання очного і дистанційного навчання передбачає інтеграцію з віртуальними лабораторіями, доповненою реальністю та автоматизованими системами оцінювання знань.

Кожен модуль курсу містить лекційний матеріал, тестові завдання, лабораторні роботи, а також елементи самоконтролю. Для підвищення ефективності навчання застосовано відеоматеріали, що сприяють кращому засвоєнню складних хімічних понять.

Лабораторний блок курсу передбачає виконання завдань у форматі «віртуальної лабораторії», де студенти можуть переглядати експерименти, аналізувати реакції органічних сполук і робити висновки. Результати лабораторних робіт подаються через Moodle у вигляді звітів, що оцінюються викладачем за критеріями точності розрахунків, логічності висновків і правильності хімічних рівнянь.

Курс також містить контролюючі модулі, які включають тести з автоматичним оцінюванням. Також створено підсумковий іспит. Саме це дає змогу не лише об'єктивно оцінювати знання студентів, а й відстежувати їхній прогрес у реальному часі.

Такий курс з органічної хімії дозволяє реалізувати принципи індивідуалізації та диференціації навчання, адже студенти можуть самостійно обирати темп роботи, кількість спроб у тестах, а також отримувати миттєвий зворотний зв'язок. Застосування інтерактивних інструментів сприяє формуванню навичок комунікації та співпраці у навчальному середовищі.

Практичне впровадження курсу органічної хімії показало підвищення рівня засвоєння матеріалу, збільшення кількості студентів, які систематично виконують завдання, а також зростання зацікавленості до вивчення дисципліни.

1. Ткачова Н.О., Ткачов А.С., Байдала В.В. Сучасні вимоги до підготовки магістрів хімії в закладах вищої освіти. *Інноваційна педагогіка*. 2023. Вип. 66. С. 184-187.

2. Анічкіна О.В., Камінський О.М., Романишина Л.М. Особливості викладання фізичної хімії в закладах вищої освіти. *Педагогічні науки: реалії та перспективи*. Вип.84. Т.1. Серія 5. 2021. С.9-13. DOI: https://doi.org/10.31392/NPU-nc.series5.2021.84.1.02

3. Павлиш Т., Басараб В., Терещенко О., Рогів, М. Цифровізація освітнього процесу в закладах вищої освіти в умовах воєнного стану. *Освітні обрії*. 2023. Вип. 1(56). С.106–109. DOI: https://doi.org/10.15330/obrii.56.1.106-109

ОРГАНІЗАЦІЙНІ ФОРМИ ПОЗАКЛАСНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ З ХІМІЇ ЯК ЗАСІБ ФОРМУВАННЯ ПРЕДМЕТНИХ КОМПЕТЕНТНОСТЕЙ СТАРШОКЛАСНИКІВ

Криворучко Аліна Валеріївна
кандидат педагогічних наук, доцент, kryvoruchko@gsuite.pnpu.edu.u
Полтавський національний педагогічний університет імені В.Г.Короленка

Сучасна система освіти України орієнтована на реалізацію дитиноцентрованого підходу, що передбачає врахування індивідуальних особливостей, потреб та здібностей здобувачів освіти. У цьому контексті особливого значення набуває пошук ефективних форм організації навчально-пізнавальної діяльності, які сприяють підвищенню мотивації учнів до вивчення природничих дисциплін, зокрема хімії. Традиційна класно-урочна система не завжди забезпечує належний рівень зацікавлення та практичного засвоєння знань. Тому позакласна робота з хімії розглядається як важливий чинник формування предметних компетентностей, розвитку творчого потенціалу, самостійності й наукового мислення школярів [1; 2].

Метою статті є визначення, систематизація та узагальнення організаційних форм позакласної діяльності з хімії як ефективного засобу формування предметних компетентностей старшокласників у контексті сучасної педагогічної теорії та практики.

Для досягнення поставленої мети використано теоретичні методи: аналіз, синтез, узагальнення науково-методичних джерел, порівняння педагогічних концепцій, класифікацій і підходів до організації позакласної роботи з хімії. Емпіричну базу становили результати опитування вчителів закладів загальної середньої освіти (ЗЗСО), спостереження за практикою проведення позакласних заходів, а також аналіз чинних освітніх програм і нормативних документів.

Проведене дослідження дозволило виявити широкий спектр організаційних форм позакласної діяльності з хімії, які умовно можна поділити на чотири групи:

1. Форми організації позакласної роботи: клуби, гуртки, курси за вибором, хімічні тижні, літні профільні табори, фестивалі проєктів, майстер-класи, екскурсії, олімпіади, конференції, наукові пікніки, квести тощо.
2. Форми навчальних занять: заняття з поглиблення знань, тренінги, воркшопи, вебінари, діалогові лекції, проєктне навчання, рольові ігри, експериментальні майданчики, колаборативне навчання, самонавчання.
3. Форми діяльності: індивідуальна, парна, групова, масова.
4. Форми проведення: онлайн, офлайн, змішана.

Таке структурування забезпечує гнучкість і варіативність позакласної діяльності, що відповідає сучасним дидактичним принципам.

Відповідно до визначення Н. Мойсеюк, форма організації навчання є зовнішнім виразом узгодженої діяльності педагога й учня, яка реалізується у певному режимі [1]. Отже, форми позакласної роботи з хімії можна розглядати як узгоджену систему взаємодії, що враховує місце, час, зміст і спосіб співпраці учасників.

Результати опитування вчителів підтвердили, що найбільш поширеними є традиційні форми: хімічні вечори, гуртки, олімпіади, тижні хімії, наукові конференції, екскурсії. Проте, попри їхню ефективність, такі формати не завжди забезпечують індивідуалізацію навчання та розвиток креативного потенціалу учнів.

Водночас до сучасних форми організації позакласної роботи з хіміївідносимо вебінари, тренінги, воркшопи, кванторіуми, квести, коворкінги, колаборації, панельні дискусії, діалогові лекції, едьютейнмент. Ці форми демонструють високу ефективність у розвитку критичного мислення, комунікативних умінь та мотивації до навчання [3; 4; 5].

Сучасні форми позакласної діяльності з хімії спрямовані на формування інтерактивного, гнучкого та креативного освітнього середовища, у якому учні виступають активними суб’єктами навчання. Вебінари забезпечують дистанційну взаємодію між учителем і учнями,

розширюючи територіальні межі навчання та стимулюючи застосування цифрових ресурсів. Тренінги формують практичні навички, сприяють командній роботі та розвитку комунікативної компетентності. Воркшопи поєднують теоретичні знання з практичними завданнями, створюючи умови для генерування власних рішень і творчого підходу. Кванторіуми орієнтовані на дослідницько-проєктну діяльність, у межах якої застосовуються хімічні знання задля вирішення реальних науково-технічних проблем. Квести активізують пізнавальний інтерес через ігрові, проблемні й дослідницькі завдання, сприяючи розвитку критичного мислення. Коворкінги формують спільний простір для колаборації, де учні можуть обмінюватися ідеями, експериментувати й реалізовувати групові проєкти. Панельні дискусії і діалогові лекції формують навички аргументованого висловлення думок, стимулюють наукове мислення та здатність до конструктивного діалогу. Особливе місце займає едьютейнмент (навчання через розвагу), який поєднує освітній та розважальний компоненти, створюючи позитивну емоційну атмосферу й посилюючи мотивацію до пізнання хімічних явищ і процесів.

Поєднання традиційних і сучасних інноваційних форм дає змогу створити ефективне освітнє середовище, де реалізуються принципи дитиноцентрованості, інтерактивності та компетентнісного підходу. Такий формат позакласної діяльності сприяє розвитку самостійності, креативності й здатності до дослідницької роботи, що є основою формування предметних компетентностей старшокласників.

Організаційні форми позакласної діяльності з хімії забезпечують практичне застосування знань, розвиток наукового мислення та креативності. Ефективність такої роботи визначається різноманіттям форм, їх відповідністю змісту навчання та інтересам учнів.

1. Мойсеюк Н. Педагогіка: навчальний посібник. К., 2003. 615 с.
2. Чеботарьов О. М. Позакласна робота з хімії (методичні матеріали). [Електронний ресурс]. 2020. (методичний довідник/конспекти для позакласної роботи з хімії).
3. Герлянд Т. М. Веб-квест у професійному навчанні (методичний матеріал). [Електронний ресурс]. 2016. (опис технології веб-квесту як навчальної технології).
4. Соколенко Н.М. Використання квест-технологій для активізації пізнавальної діяльності учнів. Матеріали конференції «Новітні ІКТ в освіті». 2021. (практичні приклади застосування квестів).
5. Тихонова А. Освітні веб-квести як засоби розвитку пізнавальної активності. *OIP-Journal.* 2024. (огляд практики використання веб-квестів у початковій та середній школі).

РОЛЬ ЕЛЕКТРОННИХ ДИДАКТИЧНИХ ІГОР У ПРОЦЕСІ ВИВЧЕННЯ ХІМІЇ

Левковська Альона Олександрівна
здобувач вищої освіти ІІ курсу другого (магістерського) рівня вищої освіти,
alenalevkovska@gmail.com
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Авдєєва Ольга Юріївна
доктор філософії, доцент, avdeeva8909@gmail.com
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Дидактичні ігри відіграють важливу роль у сучасному освітньому процесі. Їхньою особливістю є створення умов, які відрізняються від традиційних форм навчання. Надаючи здобувачам вищої освіти можливість для самостійної інтелектуальної діяльності, викладач сприяє формуванню проблемних ситуацій і стимулює пошук шляхів їх розв'язання через організовану пошуково-дослідницьку роботу. Такий підхід підвищує інтерес і мотивацію студентів, що, у свою чергу, сприяє глибшому засвоєнню навчального матеріалу.

Завдяки дидактичним іграм складні хімічні поняття стають більш доступними та зрозумілими. Водночас не слід надмірно зосереджувати увагу на ігровій діяльності, адже це може спричинити несерйозне ставлення до навчання. Дидактична гра повинна залишатися засобом активізації пізнавальної діяльності, а не перетворювати навчальний процес на розвагу.

Електронні дидактичні ігри зручно використовувати на початку заняття, оскільки вони дають змогу викладачеві швидко перевірити виконання домашнього завдання, знання хімічних формул, термінів і символів, а також допомагають здобувачам освіти пригадати раніше вивчений матеріал.

Особливо ефективними є ігри типу **«Matching»**, які передбачають поєднання назв речовин із їхніми формулами, хімічних елементів із відповідними символами або імен учених із їхніми відкриттями. Такі ігри виступають своєрідним тренажером для розвитку пам'яті, уваги та логічного мислення.

Застосування **електронних симуляцій** і **віртуальних лабораторій** перетворює пасивне сприйняття інформації на активну взаємодію з навчальним матеріалом, що значно підвищує пізнавальний інтерес здобувачів вищої освіти. Такі симуляції широко використовують для **візуалізації будови атома** (орбіталей, руху електронів) та **молекул** (2D/3D моделі), що дозволяє зробити видимими процеси, які неможливо спостерігати у звичайних лабораторних умовах. Не менш цікавими є ігри, де здобувачі освіти "перетягуванням" елементів або груп створюють хімічні формули речовин або розставляють коефіцієнти в рівняннях, таким чином, закріплюючи знання про валентність та закон збереження маси.

Великою превагою електронних дидактичних ігор є миттєвий зворотний зв'язок, що є важливим для самоконтролю та оцінювання. Здобувачі вищої освіти виконують серію вправ чи завдань у форматі гри, одразу отримуючи інформацію про правильність своїх відповідей. Це дозволяє самостійно виявляти прогалини та відпрацьовувати їх. Проведення гри з елементами змагання між командами (наприклад, інтерактивна гра «Періодична система» або «Хто перший розставить коефіцієнти»), що підвищує мотивацію та залученість.

Отже, елекронні дидактичні ігри не лише сприяють тому, що викладач може подати навчальний матеріал у більш доступній і цікавій формі, але й підвищують мотивацію та активність здобувачів освіти, розвивають критичне мислення, покращують когнітивні здібності. Головною перевагою використання таких ігор є їхня доступність і гнучкість, адже більшість із них можна адаптувати до індивідуального темпу навчання та рівня підготовки кожного здобувача вищої освіти.

1. Ковальова В. С., Приходько В. А. Гейміфікація як засіб підвищення пізнавальної

активності здобувачів освіти. *Проблеми сучасного педагогічного процесу*. 2024. Т. 36, № 1. С. 45–56.

2. Сидоренко А. Б. Цифрова дидактика: теоретичні основи гейміфікації : монографія. Харків : Науковий прогрес, 2020. 410 с.

3. Морозюк К. Р. Переваги використання віртуальних лабораторій на уроках хімії. Актуальні питання сучасної педагогіки : матеріали VI Міжнар. наук.-практ. конф. (м. Київ, 15–16 травня 2024 р.). Київ : Освіта України, 2024. С. 112–115.

4. Гончаренко В. О. Педагогічні умови використання електронних дидактичних ігор у профільному навчанні : дис. ... канд. пед. наук : 13.00.09. Харків, 2021. 235 с.

ПОДОЛАННЯ ОСВІТНІХ ВТРАТ ХІМІЧНОЇ ОСВІТИ, ЯК ОСНОВА АДАПТАЦІЙНОГО ЕТАПУ ПРОФЕСІЙНОЇ ПІДГОТОВКИ МАЙБУТНІХ ХІМІКІВ

Мельник Дмитро Олександрович
здобувач вищої освіти ІІ курсу другого рівня вищої освіти, melnikD@ukr.net
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Анічкіна Олена Василівна,
кандидат педагогічних наук, доцент, anichkina-o@zu.edu.ua
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Проблема освітніх втрат (Learning Loss) [3], що загострилася в Україні внаслідок повномасштабної військової агресії, має кумулятивний характер і потребує негайного реагування. Для спеціальності 102 «Хімія» наслідки є критичними, оскільки некомпенсовані прогалини ставлять під загрозу формування професійної компетентності майбутнього фахівця хімічної галузі.

Освітні втрати в хімії характеризуються двома компонентами: теоретичними прогалинами та, що є найбільш загрозливим, відсутністю та втратою вже здобутих експериментальних умінь через неможливість виконання хімічного експерименту в реальних умовах традиційного лабораторного навчання [2]. У Стандарті вищої освіти спеціальності 102 «Хімія» здатність застосовувати хімічний експеримент є провідним видом навчальної, а відповідно, й майбутньої професійної діяльності хіміка.

Мета дослідження. Визначити шляхи подолання освітніх втрат із хімії на адаптаційному (початковому) етапі професійної підготовки майбутніх хіміків шляхом упровадження інтерактивних педагогічних технологій, діагностичних інструментів і корекційних модулів, спрямованих на відновлення теоретичних знань і практичних умінь здобувачів вищої освіти.

Завдання дослідження. Проаналізувати сутність і причини освітніх втрат у хімічній освіті в умовах сучасних кризових викликів; обґрунтувати значення адаптаційного етапу як ключового періоду компенсації освітніх розривів у професійній підготовці здобувачів-хіміків; розкрити можливості інтерактивних методів навчання як засобу подолання теоретичних прогалин і формування практичних компетентностей.

Результати дослідження. Адаптаційний етап (перші семестри навчання в закладі вищої освіти) виступає необхідним «містком» між шкільною підготовкою та вимогами вищої освіти за певною спеціальністю. Його головною метою є нівелювання вхідних розривів у знаннях, що запобігає зростанню дезадаптації та знижує ризик академічного відсіву (dropouts).

У кризових умовах виникає необхідність підготовки особистості здатної висловлювати критичні думки, ефективно комунікувати та знаходити шляхи самовдосконалення впродовж життя. Пріоритетними рисами особистості, які має формувати сучасна освіта науковці визначають: інтенсивність, активність, незалежність, креативність та здатність до адаптації.

Для формування цих адаптивних рис та подолання теоретичних прогалин необхідна зміна дидактичної парадигми. Інтерактивне навчання, що реалізується в режимі діалогу, розмови та дії, дає змогу значно збільшити відсоток засвоєння матеріалу та впливає не лише на свідомість особистості в цілому, а й на мотивацію до опанування майбутньої професії здобувачем вищої освіти. Застосування активних методик є прямим інструментом протидії зниженню рівня успішності та порушенню систематичності навчання, спричинених кризою [4].

Незважаючи на значний психічний та психологічний дискомфорт, спричинений військовими діями, українська молодь демонструє високу готовність продовжувати навчання та активно шукає можливості ефективного використання переваг дистанційної освіти для майбутньої професійної реалізації. Завдання закладів вищої освіти – спрямувати цю стійкість через активні та цілеспрямовані інтерактивні методи.

Першим кроком є започаткування якісної діагностики вхідного рівня знань, яка має бути сфокусована на критичних зонах:

– Математичні основи: вміння оперувати одиницями вимірювання, стехіометрія та використання наукової нотації.

– Структурні основи: розуміння атомної та молекулярної будови, хімічного зв'язку та квантових чисел.

– Вторинна діагностика: необхідна для постійного моніторингу ефективності корекційної роботи.

Для нівелювання виявлених втрат пропонується двокомпонентна модель:

1. Інтенсивні Корекційні Модулі (Bridging Courses) (ІКМ): короткі, інтенсивні курси, які можуть бути інтегровані на початку або паралельно з основним навчанням для швидкого вирівнювання загальних прогалин.

2. Індивідуальні Освітні Траєкторії (ІОТ): необхідні для адресної підтримки здобувачів із критично низьким рівнем знань (ремедіація), а також для розвитку потенціалу високо мотивованих здобувачів (збагачення). Проєктування ІОТ повинно орієнтуватися на матрицю професійних компетентностей.

Враховуючи критичний брак експериментальних навичок, необхідно максимально активізувати лабораторний компонент. Використання реальних експериментів не лише допомагає закріпити знання, а й слугує засобом переключення зі стресових подій та підвищує мотивацію. Для підвищення залученості, що відповідає вимогам до активності, доцільно використовувати гейміфікацію та цифрові інструменти експериментальної діяльності, що забезпечують менторську підтримку для підготовки до навчальних занять і тренування експериментальної вправності.

Успішна реалізація адаптаційного етапу забезпечується інтеграцією академічної корекції та психолого-педагогічної підтримки. Кінцева мета – підготовка фахівця, який володіє інтегрованою компетентністю. Перспективними заходами подолання освітніх втрат у закладах вищої освіти можна розглядати:

1. Інституціоналізація діагностики: введення обов'язкової якісної вхідної діагностики та вторинного моніторингу.

2. Пріоритет інтерактивності: забезпечення системного впровадження інтерактивних методів навчання для інтенсивного доформування та ремедіації ьазових компетентностей, критичного мислення та забезпечення інтенсифікації професійної підготовки надалі.

3. Контекстуалізація змісту: інтеграція питань хімічної безпеки та прикладної хімії у контексті сучасних викликів, що забезпечує формування соціальної відповідальності, необхідної для майбутнього фахівця та додатково мотивує пізнавальну активність [1].

4. Комплексна оцінка: вимірювання ефективності адаптаційного етапу має включати не лише середній бал успішності, а й оцінку здатності здобувача застосовувати набуті компетентності в практичних ситуаціях.

Таким чином, проблема освітніх втрат у хімічній освіті потребує системного підходу, адже охоплює як теоретичні, так і практичні складові професійної підготовки. Адаптаційний етап виступає ключовим механізмом нівелювання цих втрат і формування базових компетентностей майбутніх хіміків. Інтерактивні методи навчання довели свою ефективність як інструмент активізації пізнавальної діяльності та підвищення мотивації здобувачів вищої освіти. Запропонована модель компенсації, що поєднує діагностику, корекційні модулі та індивідуальні освітні траєкторії, сприяє відновленню освітньої безперервності та забезпечує формування адаптивної, професійно зрілої особистості фахівця.

1. Chen M., Jeronen E., Wang A. What Lies Behind Teaching and Learning Green Chemistry to Promote Sustainability Education? A Literature Review. *International Journal of Environmental Research and Public Health.* 2020. 17(21), 7876. https://doi.org/10.3390/ijerph17217876

2. Halil Tümay. Reconsidering learning difficulties and misconceptions in chemistry: emergence in chemistry and its implications for chemical education. *Chemistry Education Research and Practice.* 2016. № 17, P. 229-245. https://dx.doi.org/10.1039/C6RP00008H

3. Segui Cascolan. 2023. Learning Loss in Chemistry: Basis for Conceptualizing a Remedial Program. *Jurnal Penelitian dan Pembelajaran IPA*. 2023. Vol 10, № 1 (2024). P. 25-45. https://dx.doi.org/10.30870/jppi.v10i1.24798

4. Марченко Н., Сліпчук В., Юзьків Г. Інтерактивні методи навчання у вищих навчальних закладах. *The Modern Higher Education Review*. 2023. (8). С. 146–156. https://doi.org/10.28925/2518-7635.2023.810

ВІЗУАЛІЗАЦІЯ ХІМІЧНОГО ЕКСПЕРИМЕНТУ ЗА ДОПОМОГОЮ МУЛЬТИМЕДІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Невмержицька Галина Валентинівна
здобувач вищої освіти ІІ курсу другого (магістерського) рівня вищої освіти,
nevmerzhitska06@gmail.com
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Авдєєва Ольга Юріївна
доктор філософії, доцент, avdeeva8909@gmail.com
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Хімічний експеримент є основою навчання хімії, адже саме завдяки йому здобувачі вищої освіти мають можливість побачити, як відбуваються хімічні реакції, зрозуміти їхню сутність і закономірності. Проте проведення лабораторних дослідів у реальних умовах не завжди можливе через обмеження у часі, відсутність реактивів або небезпеку певних речовин. У таких випадках сучасна освіта активно використовує мультимедійні технології, які дозволяють моделювати, демонструвати й аналізувати хімічні процеси у віртуальному форматі [1].

Мультимедійний хімічний експеримент – це демонстрація або моделювання хімічного процесу із застосуванням комп'ютерних технологій, анімацій, відеозаписів, симуляцій або інтерактивних додатків. Такий формат дозволяє поєднати візуальність, інтерактивність і наукову точність. Мультимедійний експеримент може бути віртуальним, тобто повністю змодельованим у цифровому середовищі (наприклад, симуляції PhET або ChemCollective), відеоекспериментом, тобто записом реального досліду з поясненнями, або доповненим експериментом, коли за допомогою технологій доповненої чи віртуальної реальності здобувач вищої освіти може спостерігати хімічну реакцію у тривимірному просторі [3].

Метою використання мультимедійних технологій є підвищення ефективності навчання через наочність, формування уявлень про процеси, які неможливо показати в лабораторії, розвиток дослідницьких і аналітичних умінь здобувачів вищої освіти, а також забезпечення безпеки під час вивчення хімічних реакцій. До переваг мультимедійного експерименту належать безпечність, економія реактивів і часу, можливість багаторазового повторення досліду без додаткових витрат, доступність для дистанційного навчання, а також візуалізація мікрорівня – атомів, йонів і молекул.

Існує низка ресурсів, що допомагають проводити мультимедійні експерименти. Серед них PhET Interactive Simulations (Університет Колорадо, США) – інтерактивні моделі для дослідження реакцій нейтралізації, розчинності, кислотності, електролізу тощо; ChemCollective Virtual Lab – віртуальна лабораторія, де можна створювати власні досліди, підбирати реактиви й проводити розрахунки; освітні YouTube-канали (наприклад, Periodic Videos, NileRed), які демонструють реальні хімічні експерименти з поясненнями; програми доповненої реальності, такі як AR Chemistry або Merge Cube, що дозволяють розглядати молекули та реакції у тривимірному форматі.

Викладач відіграє ключову роль у використанні мультимедійного хімічного експерименту. Він виступає не лише демонстратором, а й організатором пізнавальної діяльності. Завдання викладача полягає у виборі відповідних цифрових ресурсів, поясненні фізико-хімічної сутності явищ, поєднанні мультимедійного досліду з реальним лабораторним експериментом і розвитку в здобувачів вищої освіти навичок аналізу та критичного мислення.

Отже, мультимедійні засоби відкривають нові можливості для вивчення хімії. Вони роблять хімічний експеримент доступним, безпечним і пізнавальним навіть за відсутності спеціального обладнання. Використання віртуальних лабораторій, відеоекспериментів і симуляцій не замінює повністю реальний експеримент, але є ефективним доповненням до традиційного навчання, що формує глибше розуміння сутності хімічних процесів і стимулює

інтерес до науки [1, 2].

1. Кузнецова І. В. Сучасні технології навчання хімії: мультимедійні ресурси. Київ: Освіта, 2021.

2. Романюк О. А. Використання віртуальних лабораторій у навчанні природничих дисциплін. *Інноваційна педагогіка*. 2023. № 54. С. 112–116.

3. Сисоєва С. О., Осадчий В. В. Інформаційно-комунікаційні технології в освіті: сучасний стан і перспективи розвитку. Київ: Педагогічна думка, 2020.

СИНЕРГІЯ ПРОЄКТНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ ТА КРИТИЧНОГО МИСЛЕННЯ У ФОРМУВАННІ КУЛЬТУРИ РАЦІОНАЛЬНОГО ХІМІЧНОГО ПІЗНАННЯ УЧНІВ ЗАКЛАДІВ ЗАГАЛЬНОЇ СЕРЕДНЬОЇ ОСВІТИ

Нестерчук Олександр Юрійович,
здобувач вищої освіти ІІ курсу другого рівня вищої освіти, Ol.nest.1998@gmail.com
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Ходаківський Олексій Володимирович,
здобувач вищої освіти ІІ курсу другого рівня вищої освіти, alexhodd@ukr.net
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Анічкіна Олена Василівна,
кандидат педагогічних наук, доцент, anichkina-o@zu.edu.ua
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Формування раціонального ставлення до хімічної науки, необхідного для досягнення Цілей Сталого Розвитку, є інтегрованим ціннісно-когнітивним процесом, який найбільш ефективно реалізується через методологію проєктної діяльності, насиченої елементами критичного мислення.

Розвиток критичного мислення в учнів закладів загальної середньої освіти виступає необхідним когнітивним інструментом для подолання дефіциту природничо-наукової грамотності, виявленої міжнародними дослідженнями. Критичне мислення дозволяє трансформувати засвоєння хімічних фактів у здатність до об'єктивного аналізу екологічних проблем та приймати обґрунтовані рішення .

Проєктна діяльність, як технологія навчання, орієнтована на вирішення реальних проблем (PBL – Project-Based Learning, або навчання на основі проєктів, та Problem-Based Learning, або проблемно-орієнтоване навчання) [1], надає структурований простір для застосування критичного мислення в контексті Цілей Сталого Розвитку. Завдяки проєктній діяльності, хімічні знання застосовуються для розв'язання конкретних соціо-екологічних завдань (від рециклінгу до очищення води), що безпосередньо формує екологічну культуру та екоцентричну життєву компетентність, які є суттю раціонального ставлення. Таким чином, синергія проєктної дяльності та критичного мислення забезпечує перехід від академічної абстракції до свідомої, відповідальної та раціональної громадянської позиції.

Актуальність модернізації хімічної освіти в закладі загальної среденьої освіти зумовлена необхідністю подолання дефіциту природничо-наукової грамотності (34% 15-річних підлітків не досягли базового рівня) [4, с. 51] та стратегічним завданням НУШ щодо формування життєвої компетентності. Це вимагає заміни пасивного засвоєння ізольованих знань на розвиток самостійного мислення, здатності до обґрунтованої інтерпретації результатів та формулювання висновків. Формування раціонального ставлення до хімії, що інтегрує науковий світогляд та екоцентричну культуру, є необхідною передумовою для усвідомленого внеску молодого покоління в реалізацію Цілей Сталого Розвитку.

Метою є обґрунтування синергетичної взаємодії проєктної діяльності та критичного мислення як ключового методичного засобу, що забезпечує формування раціонального ставлення до хімічної науки, необхідного для досягнення глобальних Цілей Сталого Розвитку.

Дослідження базується на концепції, згідно з якою проєктна діяльність, як сукупність дослідницьких і проблемних методів , створює реалістичне навчальне середовище, орієнтоване на розв'язання проблем реального світу. Критичне мислення виступає як необхідний когнітивний механізм, що забезпечує аналіз інформації, формування обґрунтованих суджень та прийняття відповідальних рішень. Застосування проєктної

діяльності, що вимагає міжсуб'єктної взаємодії та автономності, є ефективнішим за традиційне навчання, що підтверджується значно вищими результатами успішності учнів у PBL-групах.

Використання інтерактивного навчання, як провідного методу навчання в закладах загальної середньої освіти для формування практичних життєвоважливих компетентностей учнів, зокрема хімічних, дозволяє використовувати проєктну діяльність і критичне мислення:

1. Критичне мислення як каталізатор раціонального ставлення: розвиток критичного мислення через хімічну освіту трансформує учня з пасивного споживача інформації на активного суб'єкта, здатного до об'єктивної оцінки технологічних ризиків та переваг. Методи розвитку критичного мислення (наприклад, «плюс-мінус-цікаво») дозволяють систематично оцінювати складні питання, такі як екологічний вплив полімерів, сприяючи формуванню самостійності та відповідальності за власну діяльність.

2. Проєктна діяльність як операційний інструмент досягнення ЦСР: проєктна діяльність надає ЦСР конкретний зміст, перетворюючи їх на навчальні завдання. Через інтегровані проєкти (наприклад, «Рециклінг як єдиний цивілізований спосіб утилізації твердо-паливних відходів», «Зелена хімія у побуті») учні безпосередньо застосовують критичне мислення для вибору екологічно безпечних рішень та формування екоцентричної культури.

3. Формування життєвої компетентності: інтегровані проєкти вимагають інтеграції знань з різних природничих наук, моделювання процесів (зокрема, видалення забруднювачів) та використання цифрових навичок. Це забезпечує набуття життєвої компетентності та навичок безпечного поводження з речовинами, що є практичною основою раціонального ставлення.

Синергетичний підхід, заснований на інтеграції проєктної діяльності та технологій критичного мислення, є найбільш ефективним засобом формування раціонального ставлення до хімічної науки в закладі загально середньої освіти. Це ставлення, що характеризується обґрунтованістю, екоцентричністю та відповідальністю, забезпечує свідому участь молодого покоління у розв'язанні глобальних проблем, сприяючи досягненню Цілей Сталого Розвитку суспільства. Перспективним стане подальше впровадження міжпредметних STEM-проєктів, орієнтованих на принципи Зеленої хімії, з акцентом на етапи критичного аналізу та обґрунтованої презентації результатів.

1. Ijirana Ijirana, Sitti Aminah, Supriadi Supriadi, Magfirah Magfirah. Critical thinking skills of chemistry education students in team project-based stem-metacognitive skills learning during the COVID-19 pandemic. Journal of Technology and Science Education. 2022. Vol 12, No 2. P.397-409. https://doi.org/10.3926/jotse.1697

2. Jiayu Cao, Hua Guan, Jianwen Jiang. A Review of the Literature on Project-Based Learning in High School Chemistry over the Past Decade in the Journal of Chemical Education. Journal of Chemical Education. 2025. Vol 102. Issue 2. P. 599–614. https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.4c00886

3. Musahal Ali, Rahmawati Yuli, Soeprapto Agung, Mardiah Alin. Developing Students' Critical Thinking Skills in Chemistry through an Environmental Education Experience using STEM-Project-Based Learning. 2024. https://doi.org/10.1063/5.0184953.

4. Національний звіт за результатами міжнародного дослідження якості освіти PISA-2022 / кол. авт. : Г. Бичко (осн. автор), Т. Вакуленко, Т. Лісова, М. Мазорчук, В. Терещенко, С. Раков, В. Горох та ін. ; за ред. В. Терещенка та І. Клименко ; Український центр оцінювання якості освіти. Київ, 2023. 395 с.

ХІМІЯ ЯК ПРОСТІР ФОРМУВАННЯ ДОСЛІДНИЦЬКОГО СТАВЛЕННЯ ДО ЖИТТЯ УЧНІВ У КОНТЕКСТІ КОНЦЕПЦІЇ НОВОЇ УКРАЇНСЬКОЇ ШКОЛИ

Ніколаєва Алла Валентинівна,
здобувач вищої освіти І курсу другого рівня вищої освіти, NicoAlua@ukr.net
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Анічкіна Олена Василівна,
кандидат педагогічних наук, доцент, anichkina-o@zu.edu.ua
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Сучасна школа стоїть перед завданням не лише передати учням знання, а й сформувати особистість, здатну до самостійного пошуку, критичного мислення й творчої адаптації до швидкоплинного світу. В умовах реформування освіти за концепцією **Нової Української Школи (НУШ)** актуальним стає формування **дослідницького ставлення до життя** – тобто внутрішньої готовності дитини сприймати навколишню реальність як поле для пізнання, експериментування й усвідомленої дії.

Хімія, як наука експериментальна та прикладна, має унікальні можливості для розвитку дослідницької поведінки, особливо якщо освітній процес орієнтовано на практичний досвід учнів, пов'язаний із повсякденним життям. Вивчення хімії через побутові ситуації, феномени ужитку та реальні життєві проблеми перетворює предмет на інструмент осмислення світу, а не лише запам'ятовування формул, складних назв і химерних структур.

Поняття «ставлення» у психології трактується як узагальнена готовність особистості до певного способу мислення, емоційного реагування і поведінки. Отже, **дослідницьке ставлення** – це позитивна оцінка та готовність використовувати методи наукового пошуку для пояснення явищ повсякденності. Таке ставлення пов'язане з *Я-концепцією* учня, із його внутрішньою позицією спостерігача, творця і пізнавального суб'єкта.

Визначені компетентності XXI століття ОЕСР (2010*)* [1], включають *здатність розуміти й інтерпретувати явища у реалістичних контекстах, мислити критично, взаємодіяти, комунікувати, створювати інноваційні рішення*. Саме ці якості й формуються через організацію навчання хімії як дослідження.

Формування дослідницького ставлення передбачає врахування таких методологічних орієнтирів [2, 3]:

1. **Контекстуалізацію знань** – вивчення хімічних явищ у зв'язку з реальними життєвими ситуаціями.
2. **Активну навчальну діяльність** – експеримент, спостереження, постановку гіпотез, обговорення результатів.
3. **Розвиток емоційно-ціннісної сфери**, що допомагає учневі бачити в науці не лише інструмент, а й спосіб осмислення себе у світі.
4. **Поступовість** – перехід від простих окремих експериментів до дослідницьких проєктів, від наслідування до творчого пошуку.

У 8 класі відповідно до чинних навчальних програм (автори Г.А. Лашевська, О.В. Григорович) вже закладено потенціал для формування дослідницької поведінки. Уроки з тем *«Досліджуємо хімічні реакції», «Досліджуємо гази довкілля», «Досліджуємо будову речовини»* дають змогу організувати навчання через експеримент, моделювання та проєктну діяльність.

Однак аналіз змісту показує, що деякі завдання (наприклад, дослідження горіння свічки) часто виконуються формально, без особистісного сенсу. Для підвищення пізнавальної активності учнів доцільно оновити підхід: зробити експеримент «живим», включеним у життєвий контекст.

Наприклад, замість традиційного спостереження за горінням свічки можна поставити перед учнями **питання дослідницького типу**:

- Чому полум’я свічки змінює форму при зміні умов?
- Як можна зменшити шкідливі викиди під час горіння парафіну?
- Чи можна створити *екосвічку* з відновлюваних матеріалів?

Такі міні-дослідження розвивають в учнів не лише хімічні знання, а й **екологічну свідомість, інженерне мислення, підприємницькі компетентності.**

Інший приклад – **проєкт «Альтернатива природному газу»**, у якому учні досліджують властивості біогазу, вчаться порівнювати об’єми газів, розраховують енергетичну ефективність і презентують власні рішення для громади. Це не лише інтеграція хімії, фізики, математики, але й розвиток соціальної активності.

Можна виділити основні етапи формування дослідницького ставлення до життя:

1. **Мотиваційний** – створення ситуації здивування, запитання, проблеми, що виходить за межі підручника.
2. **Пошуковий** – постановка гіпотез, планування спостережень, вибір інструментів.
3. **Експериментальний** – власне дослідження, вимірювання, аналіз результатів.
4. **Рефлексивний** – обговорення, оцінювання процесу, перенесення висновків у життєвий контекст.

Урок хімії перетворюється на **майданчик життєвого експериментування**, де учні навчаються робити висновки з помилок, аргументувати, комунікувати. Такий підхід змінює парадигму – від «навчання предмету» до «навчання через дослідження світу», який актуальний для систем освіти лідерів міжнародного проєкту PISA 2022, за результатами успішності з природничо-наукових дисциплін на національному та субнаціональному рівнях – Сінгапуру, Японії, Макао (Китай), Китайський Тайбей, Альберта (Канада), Корея [4, с. 96].

Побутова хімія – це природне середовище застосування знань. Використання ситуацій, що знайомі дітям (миття посуду, очищення поверхонь, приготування їжі, горіння свічки, догляд за тканинами тощо), допомагає сформувати **раціональну поведінку** у повсякденні та **відповідальне ставлення до хімічних речовин.**

Так, дослідження складу пральних засобів, експерименти з оцтом і содою, вивчення дії кислот і лугів у побуті дозволяють учням усвідомити значення науки для здоров’я, економії ресурсів і безпеки. Водночас формується особистісна позиція дослідника – людини, яка запитує, спостерігає, перевіряє, діє.

Досвід упровадження такого підходу в практику освітнього процесу країн-лідерів рейтингу PISA 2022 з вивчення природничо-наукових дисциплін показав:

- зростання **пізнавальної активності** та **ініціативності** учнів;
- підвищення рівня **розуміння хімічних процесів** завдяки зв’язку з реальністю;
- формування навичок **групової взаємодії, дискусійної культури, емоційно-ціннісної рефлексії;**
- розвиток **самостійності** й **відповідальності** за результати власної роботи.

Учні, які систематично беруть участь у побутових дослідженнях, демонструють стійку позитивну мотивацію до вивчення природничих дисциплін і проявляють креативність поза межами навчання.

Таким чином, формування дослідницького ставлення до життя є стратегічною метою шкільної хімічної освіти, а її найефективнішим шляхом виступає **інтеграція навчання з побутовими контекстами**, що забезпечує смислову насиченість експериментів і стійкий інтерес. Дослідницьке навчання формує цілісну особистість – спостережливу, критично мислячу, готову до дії в умовах не тільки кабінету хімії, а й **лабораторії життя.**

1. Anna Dumont, David Istance, Francisco Benavides. *The Nature of Learning: Using Research to Inspire Practice.* Paris: OECD Publishing, 2010. https://www.oecd.org/content/dam/oecd/en/publications/reports/2010/08/the-nature-of-learning_g1ghfff3/9789264086487-en.pdf

2. Bybee R. W. *The Case for STEM Education: Challenges and Opportunities*. 2013. NSTA Press. 131 p. https://museumofaviation.org/wp-content/uploads/2019/07/The_Case_for_STEM_Education.pdf

3. Hmelo-Silver C. E., Duncan R. G., Chinn C. A. *Scaffolding and Achievement in Problem-Based and Inquiry Learning: A Response to Kirschner, Sweller, and Clark (2006).* 2007. *Educational Psychologist*, 42(2), 99–107.https://doi.org/10.1080/00461520701263368

4. PISA-2022. Результати. (Том I). Стан навчання та рівності в освіті: Міжнародний звіт за результатами міжнародного дослідження якості освіти PISA-2022 (переклад українською мовою) / перекл. Л. Овсяннікова; наук. ред. В. Терещенко; Український центр оцінювання якості освіти. Київ : УЦОЯО, 2024. 518 с.

ЦИФРОВІ РЕСУРСИ ЯК ЕФЕКТИВНИЙ ІНСТРУМЕНТ ФОРМУВАННЯ ПРОФЕСІЙНИХ КОМПЕТЕНТНОСТЕЙ ІЗ ХІМІЇ

Олексюк Олена Юріївна
здобувач вищої освіти ІІ курсу другого (магістерського) рівня вищої освіти,
olena7859@gmail.com
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Авдєєва Ольга Юріївна
доктор філософії, доцент, avdeeva8909@gmail.com
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Освіта XXI століття спрямована на підготовку здобувачів освіти до свідомої та відповідальної участі в житті сучасного, дедалі більш цифровізованого суспільства. Пандемія COVID-19 стала каталізатором змін у світових освітніх системах, змусивши педагогів переосмислити традиційні підходи до навчання та активно впроваджувати цифрові технології для забезпечення безперервності освітнього процесу. Це значно прискорило темпи глобальної цифрової трансформації освіти. Проте у хімічній освіті сама наявність цифрових інструментів не гарантує автоматичного підвищення ефективності навчання. Дисципліни STEM (наука, технології, інженерія, математика) мають надзвичайно важливе значення для суспільства, адже саме вони є основою науково-технічного прогресу та інновацій. Ці предмети часто потребують високого рівня абстрактного мислення й візуалізації, а тому цифрові інструменти мають великий потенціал для полегшення сприйняття складних понять і процесів. Сучасна освіта нині перебуває на етапі глобальної інформатизації та діджиталізації, що характеризується активним розвитком цифрових технологій, електронних ресурсів, засобів доповненої та віртуальної реальності, а також онлайн-платформ для створення інтерактивних тестів, вікторин, дидактичних ігор, кросвордів, хмар слів і ментальних карт [1].

Американський педагог і дослідник Марк Пренскі охарактеризував сучасне покоління як «цифрове покоління» або «цифрових аборигенів», адже вони зростають у середовищі, де технології є природною частиною щоденного життя. Для цих дітей взаємодія з цифровими пристроями є звичною з раннього віку, що формує новий тип мислення й сприйняття інформації. Водночас надмірна кількість технологічних стимулів ускладнює концентрацію уваги, змінює поведінкові моделі та може впливати на навчальні результати. Такі здобувачі освіти краще сприймають матеріал, поданий у форматі візуально-інтерактивного контенту – 3D-моделей, анімацій, симуляцій, дидактичних ігор, квестів і навчальних загадок. Саме тому сучасна школа має створювати освітнє середовище нового типу, яке поєднує індивідуалізоване навчання з можливостями цифрових технологій. Такий підхід сприяє підвищенню мотивації здобувачів освіти, формуванню самостійності в опануванні знань у практичних ситуаціях [2].

Метою нашого дослідження є з'ясувати педагогічні можливості цифрових освітніх ресурсів (віртуальних лабораторій, онлайн-платформ, інтерактивних симуляцій) для підвищення якості хімічної освіти.

Формування хімічних компетентностей неможливе без інтеграції цифрових освітніх платформ та інструментів у навчальному процесі, прикладами є PhET Interactive Simulations, LearningApps, Wordwall, 3D Molecule Viewer, Kahoot! Canva, ChemCollective, YouTube EDU, TED-Ed Chemistry тощо.

Використання даних освітніх ресурсів у процесі викладання хімії відкриває широкі можливості для підвищення ефективності навчання та формування ключових компетентностей здобувачів вищої освіти, наприклад:

1. здатні забезпечити високий рівень наочності, дозволяючи моделювати хімічні процеси, будову речовин і перебіг реакцій у форматі інтерактивних візуалізацій, що значно полегшує засвоєння абстрактних понять, які є дуже важливим в процесі навчання хімії;

2. застосування онлайн-платформ і віртуальних лабораторій сприяє індивідуалізації освітнього процесу, даючи можливість здобувачам освіти самостійно експериментувати, аналізувати результати та працювати у власному темпі;

3. цифрові ресурси сприяють розвитку дослідницьких, інформаційно-цифрових та аналітичних умінь, формують критичне мислення. Крім того, інтеграція цифрових технологій у навчання хімії створює умови для реалізації STEM-підходу, забезпечує міжпредметні зв'язки та підвищує мотивацію здобувачів освіти до вивчення природничих наук [3].

Останнім часом одним із найсучасніших напрямів розвитку освітніх технологій стало використання робототехніки в хімічній освіті. Вже у 2017 році Гербер із колегами представили проєкт роботів на базі Lego Mindstorms, здатних виконувати операції з рідинами, дозуванням та змішуванням речовин. Метою цієї розробки було розширення можливостей експериментального навчання, особливо у школах, де проведення реальних лабораторних дослідів є обмеженим через брак ресурсів або безпекові вимоги. У 2021 році Лу та співавтори створили інноваційну систему VR2E2C (Virtual Reality for Remote Experimental Chemistry Education), яка поєднує віртуальну реальність (VR) та інтелектуальні роботи для дистанційного вивчення експериментальної хімії. Ця система дозволяла користувачам не лише спостерігати, а й керувати роботизованими установками, виконуючи експерименти в режимі реального часу, або обирати автоматичну демонстрацію досліду. Завдяки таким технологіям стало можливим проводити безпечне, інтерактивне та практико орієнтоване навчання, що відкриває нові перспективи для формування експериментальних і дослідницьких компетентностей у дистанційному форматі [4].

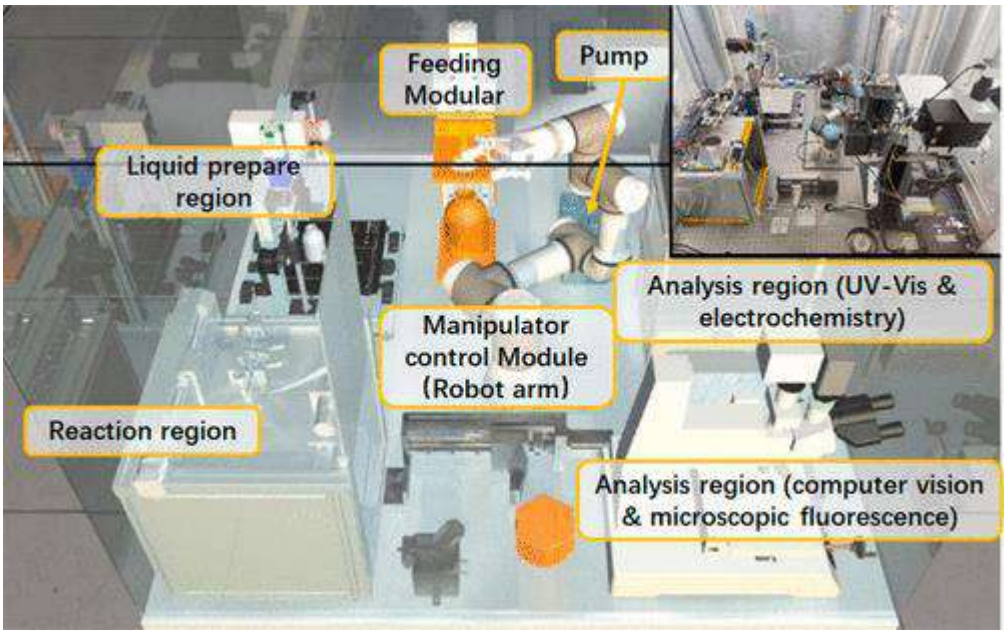


Рис.1 Вид віртуальної кімнати керуючого середовища в VR2E2C, побудований в тій же пропорції, що і справжня хімічна лабораторія

Отже, використання цифрових технологій у навчанні хімії є перспективним напрямом розвитку сучасної освіти, що відповідає вимогам інформаційного суспільства та компетентнісного підходу. Цифрові ресурси створюють умови для індивідуалізації навчання, розширюють доступ до якісного освітнього контенту та сприяють формуванню стійкої мотивації до пізнання. Таким чином, упровадження цифрових технологій у процес викладання хімії є не лише даниною сучасним тенденціям, а й необхідною умовою підготовки компетентного, технологічно грамотного та свідомого покоління, здатного ефективно діяти в умовах стрімкого науково-технічного прогресу.

1. Chiu W.-K., Pedagogy of Emerging Technologies in Chemical Education during the Era of Digitalization and Artificial Intelligence: A Systematic Review, 2021. URL: https://www.mdpi.com/2227-7102/11/11/709?utm_source

2. O. Wohlfart, Alina L. Wagner and Ingo Wagner Digital tools in secondary chemistry education – added value or modern gimmicks?, 2023. URL: https://www.frontiersin.org/journals/education/articles/10.3389/feduc.2023.1197296/full?utm_source

3. Сняла Ю. Застосування цифрових інструментів у навчанні хімії. Освіта. Інноватика. Практика, 2023. Том11, No4. С. 55-64. DOI: 10.31110/2616-650X-vol11i4-008

4. Lu,Y.; Xu, Y.; Zhu, X. Designing and Implementing VR2E2C, a Virtual Reality Remote Education for Experimental Chemistry System. *J. Chem. Educ*. 2021, 98, 2720–2725.

ПЕРСПЕКТИВИ ТА ВИКЛИКИ ВИКОРИСТАННЯ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ У ХІМІЧНІЙ ОСВІТІ

Омельчук Анна Олександрівна
здобувач вищої освіти ІІ курсу другого (магістерського) рівня вищої освіти,
annaomelchuk2002@ukr.net
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Авдєєва Ольга Юріївна
доктор філософії, доцент, avdeeva8909@gmail.com
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Сучасна система освіти переживає етап глибокої цифрової трансформації, що зумовлює потребу в оновленні методів навчання природничих дисциплін, зокрема хімії. У контексті реалізації принципів навчання в ході вивчення хімії, орієнтованих на формування компетентностей XXI століття, дедалі більшої актуальності набуває використання інноваційних технологій, які сприяють формуванню дослідницьких компетентностей, критичного мислення та самостійності здобувачів вищої освіти. Одним із найперспективніших напрямів цифровізації є впровадження штучного інтелекту (ШІ), здатного оптимізувати процес навчання хімії та зробити його більш інтерактивним і персоналізованим.

Метою дослідження є аналіз потенціалу та ключових викликів упровадження технологій штучного інтелекту у процесі викладання хімії.

Застосування ШІ у викладанні хімії відкриває нові можливості для індивідуалізації навчання. Алгоритми штучного інтелекту здатні аналізувати результати здобувачів освіти, визначати труднощі у засвоєнні матеріалу та пропонувати індивідуальні завдання відповідно до рівня знань [1-2]. Це дозволяє підвищити ефективність вивчення складних тем, таких як будова речовини, хімічна кінетика, органічний синтез тощо.

Інтеграція ШІ з віртуальними лабораторіями створює умови для проведення безпечних і наочних експериментів. Здобувачі освіти можуть моделювати хімічні реакції, змінювати концентрації реагентів, температуру або каталізатори та спостерігати результати в реальному часі. Такі симуляції сприяють глибшому розумінню закономірностей, що лежать в основі хімічних процесів, формуванню дослідницьких умінь. Серед успішних прикладів можна відзначити симуляційні платформи PhET Chemistry (https://lnk.ua/y4zjLod4j), Labster (https://lnk.ua/B4ORWlMNG) і ChemCollective (https://lnk.ua/zeGkApzer), які вже частково використовують елементи штучного інтелекту для індивідуалізації навчальних траєкторій. Вони дозволяють створювати інтерактивні середовища, у яких кожен здобувач освіти може експериментувати без ризику, аналізуючи механізми реакцій і властивості речовин.

Однією з ключових переваг ШІ є можливість автоматичного створення навчальних матеріалів (тестів, задач, хімічних рівнянь, інструкцій до лабораторних робіт або пояснень складних понять та ін.). Наприклад, системи на базі моделей GPT можуть генерувати варіанти завдань з органічної чи неорганічної хімії відповідно до рівня знань здобувача освіти. Такі інструменти допомагають викладачам економити час, підвищуючи якість підготовки до лабораторних занять, проте потребують контролю точності та достовірності згенерованої інформації. Також перспективним є використання ШІ для створення візуального навчального контенту, наприклад, структурних формул, 3D-моделей молекул [3]. Це сприяє кращому засвоєнню матеріалу здобувачами з різними стилями навчання.

Попри значний потенціал, застосування ШІ у хімічній освіті супроводжується низкою викликів. Серед них особливо виділяють ризик надмірної автоматизації навчального процесу, коли знижується роль самостійного мислення здобувачів освіти. Також залишається актуальною проблема недостатнього технічного забезпечення закладів освіти та цифрової підготовки викладачів. Адже без належного навчання викладачів ефективна інтеграція таких технологій у навчальний процес є неможливою. Окремої уваги потребують питання

достовірності й наукової коректності даних, згенерованих ШІ. У хімії, де точність формул, пропорцій і механізмів реакцій є критичною, навіть незначна похибка може призвести до хибних висновків. Тому необхідно впроваджувати систему рецензування або автоматичну перевірку контенту, створеного за допомогою ШІ. Важливо також забезпечити етичне використання генеративного штучного інтелекту – зокрема, захист особистої інформації здобувачів освіти, уникнення спотворення результатів роботи алгоритмів і забезпечення відкритості принципів їх функціонування [4].

Крім того, ШІ має використовуватися як допоміжний інструмент, а не замінник викладача чи джерело безумовно достовірної інформації. Методичне впровадження ШІ у викладання хімії потребує розробки нових дидактичних моделей, що поєднують технологічні та педагогічні компоненти. Важливим завданням є створення методичних рекомендацій для викладачів щодо ефективного та безпечного використання генеративних систем у навчальному процесі.

Отже, штучний інтелект має значний потенціал для вдосконалення хімічної освіти від створення адаптивних навчальних матеріалів і віртуальних лабораторій до підтримки індивідуальних траєкторій навчання. Однак ефективна реалізація цих можливостей потребує вирішення питань етики, цифрової компетентності викладачів, технічного забезпечення та перевірки достовірності згенерованого контенту. Успішне впровадження ШІ у хімічну освіту можливе лише за умов співпраці викладачів, дослідників і розробників освітніх технологій, що забезпечить розвиток сучасної, інноваційної та безпечної системи навчання.

1. Балик Н. Р., Шмигер Г. П. Методичні прийоми навчання учнів основам штучного інтелекту та машинного навчання. Сучасні цифрові технології та інноваційні методики навчання: досвід, тенденції, перспективи : матеріали XI Міжнародної науково-практичної інтернет-конференції, Тернопіль, 2023. С. 177–181.

2. Гайда В. Я. Ефективні прийоми STEM-навчання. *Наукові записки. Серія: Педагогічні науки*. 2024. №212. С.81–85.

3. Соменко Д. В., Трифонова О. М., Садовий М. І. Штучний інтелект та нейромережі в освітньому процесі: переваги та недоліки. Актуальні проблеми та перспективи технологічної і професійної освіти : матеріали VII Всеукр. науковопракт. інтернет-конф., Тернопіль, 2023. С. 78–81.

4. Скіцько В. І. Сучасні виклики та перспективи використання штучного інтелекту в освіті. Цифрова трансформація в освіті: виклики та перспективи: матеріали Міжнародної науково-практичної конференції (15–16 квітня 2025 року, м. Київ)/Упорядники: Твердохліб ІА, Малюх ЄВ Київ: Вид-во УДУ імені Михайла Драгоманова, 2025. 324 с. URL: https://surl.li/qpzhlf (дата звернення: 05.10.2025).

ВИКОРИСТАННЯ ІНТЕРАКТИВНИХ ЛЕПБУКІВ НА УРОКАХ ХІМІЇ В 7 КЛАСІ

Павліченко Олександр Сергійович,
здобувач вищої освіти ІІ курсу другого (магістерського) рівня вищої освіти,
olexakko@gmail.com
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Авдєєва Ольга Юріївна
доктор філософії, доцент, avdeeva8909@gmail.com
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

В умовах реформування середньої освіти в Україні, зокрема впровадження стандартів Нової української школи (НУШ), перед вчителями хімії постає гостре завдання пошуку нових, ефективних форм і методів навчання, сучасних освітніх інструментів, які сприятимуть розвитку пізнавальної активності, критичного мислення та творчих здібностей учнів. Це особливо важливо для учнів 7 класу, які лише розпочинають системне вивчення хімії. Абстрактність початкових понять і термінів нерідко ускладнює сприйняття навчального матеріалу та знижує інтерес до предмета. Одним із ефективних засобів подолання цієї труднощі є впровадження технології лепбукінгу, що сприяє кращому розумінню і засвоєнню базових хімічних знань.

Мета нашої роботи – теоретично обґрунтувати методичні перспективи застосування лепбуків, проаналізувавши їх дидактичний потенціал у контексті навчальної програми з хімії для 7 класу [2] та психологічних особливостей учнів.

Лепбук – це інтерактивна тематична творча папка, що поєднує елементи гри, дослідження та візуалізації навчального матеріалу. Використання інтерактивних лепбуків на уроках хімії в 7 класі є особливо актуальним, оскільки саме на цьому етапі учні вперше системно знайомляться з основами хімічної науки. Варто зазначити, що хімія потребує від здобувачів освіти не лише запам’ятовування понять, формул і законів, а й уміння аналізувати, порівнювати, узагальнювати інформацію та встановлювати причинно-наслідкові зв’язки. Саме лепбук, як наочний і динамічний інструмент навчання, сприяє формуванню цих умінь у доступній та захопливій формі. Крім того, інтерактивні лепбуки дають змогу реалізувати компетентнісний, діяльнісний і особистісно орієнтований підходи до навчання. Вони стимулюють самостійну роботу учнів, підвищують інтерес до предмета, формують навички пошукової, аналітичної та творчої діяльності.

В умовах цифровізації освіти лепбук можна використовувати як у традиційній паперовій, так і в електронній формі, що відкриває нові можливості для дистанційного та змішаного навчання.

Таким чином, головною перевагою лепбука, як навчального інструмента, є поєднання візуалізації, гри та самостійної роботи. Для учнів 7 класу, які за своїми психологічними особливостями ще тяжіють до наочно-образного мислення, проте поступово переходять до логічного [1], лепбук виступає своєрідним посередником між цими двома типами мислення. Завдяки можливості взаємодіяти з його елементами – відкривати, розгортати, переглядати кишеньки, віконця чи міні-книжки – навчальний процес перетворюється з пасивного сприйняття інформації на активну пізнавальну діяльність.

Аналіз чинної навчальної програми з хімії для 7 класу [2] показує, що теми «Хімія – перші кроки» та «Від хімічних елементів – до хімічних сполук» є найбільш вдалими для цієї технології. Вони перенасичені новою термінологією та схемами, які лепбук дозволяє «упакувати» в логічні, візуально зрозумілі блоки.

Ми вбачаємо кілька ключових методичних перспектив у використанні лепбуків на уроках хімії:

- подолання «абстрактності» – замість заучування визначень, учень створює або заповнює візуальні елементи, наприклад, обертовий диск «Елемент – Символ» для запам'ятовування символів, або кишенька «Хімічний словничок» з картками термінів (атом, молекула, йон). Технологія лепбукінгу використовує «ефект мимовільного навчання» [3], тобто за рахунок високої наочної привабливості, яскравого оформлення та ігрових елементів, процес засвоєння, закріплення та запам'ятовування матеріалу відбувається «мимовільно», без надмірного когнітивного напруження;
- систематизація знань – створення «книжки-гармошки» зі схемою класифікації речовин (прості/ складні, метали/ неметали) допомагає учню самостійно вибудувати логічні зв’язки між поняттями;
- диференційоване навчання– учні з різним темпом роботи можуть наповнювати лепбук з різною деталізацією. Хтось обмежиться базовими визначеннями, а хтось додасть кишеньки з цікавими фактами чи додатковими прикладами;
- формувальне оцінювання – лепбук слугує чудовим інструментом зворотного зв’язку. Працюючи з учнем над його заповненням, учитель одразу бачить прогалини в знаннях (наприклад, чи правильно учень заповнив схему «Добування кисню») і може її миттєво скоригувати.

З цього випливає, що використання лепбуків у 7 класі має значний дидактичний потенціал, що відповідає запитам НУШ. Ця технологія сприяє міцнішому засвоєнню матеріалу через активну діяльність учня, перетворюючи його з об'єкта на суб'єкт навчання.

Отже, застосування інтерактивних лепбуків на уроках хімії в 7 класі є актуальним і доцільним, оскільки поєднує навчання, гру та творчість, роблячи процес вивчення хімії більш захопливим, доступним і результативним.

1. Сергєєнкова О. П., Столярчук О. А., Коханова О. П., Пасєка О. В. Вікова психологія. Навч. посіб. К.: Центр учбової літератури, 2012. 376 с.

2. Модельна навчальна програма «Хімія. 7–9 класи» для закладів загальної середньої освіти (авт. Григорович О. В.) / рекомендовано Міністерством освіти і науки України (наказ МОН від 29.12.2023 № 1575). URL: https://mon.gov.ua/static-objects/mon/sites/1/zagalna%20serednya/Navchalni.prohramy/2023/Model.navch.prohr.5-9.klas/Pryrodnycha.osvitnya.haluz.2023/Khimiya.7-9.klas.Hryhorovych.29.12.2023.pdf (дата звернення: 08.11.2025).

3. Implicit Learning: History & Applications Paul J. Reber, Laura J. Batterink, Kelsey R. Thompson & Ben Reuveni Department of Psychology Northwestern University, Evanston, IL USA, 2017. 26 с.

МОЖЛИВОСТІ РОЗВИТКУ ЦИФРОВИХ КОМПЕТЕНТНОСТЕЙ У ВИКЛАДАННІ ХІМІЇ В 7 КЛАСІ, ЗОКРЕМА ПІД ЧАС ВИВЧЕННЯ АБСТРАКТНИХ ПОНЯТЬ

Паво Тюнде Василівна,
здобувач вищої освіти ІІІ курсу, pava.tunde.bl23tt@kmf.org.ua
Закарпатський угорський університет імені Ференца Ракоці ІІ

Молнар Крістіна Аттілівна,
асистент кафедра біології та хімії, molnar.krisztina@kmf.org.ua
Закарпатський угорський університет імені Ференца Ракоці ІІ

Викладання хімії створює надзвичайно багато викликів для тих, хто її викладає. Серед природничих наук можна сказати, що хімія отримала найменш сприятливу роль на рівні загальної та середньої освіти і є одним із найменш популярних предметів серед вікової групи 12-15 років [1,2]. Учні починають вивчати хімію в 7 класі загальноосвітньої школи. Відповідно до програми Нова українська школа, запровадженої у 2018 році, у 2024 році вже другий 7 клас навчається в рамках цієї програми [3].

В рамках Нової української школи на веб-сайті Міністерства освіти пропонується дві модельні навчальні програми [4,5]. Метою модельних навчальних програм, окрім розвитку дослідницьких навичок, є впровадження компетентнісного підходу, формування сталого розвитку та відповідальності, а також демонстрація практичної релевантності хімії в повсякденному житті [5]. Крім того, особлива увага приділяється розвитку наскрізних (трансверсальних) навичок – зокрема цифрових компетентностей, підтримці самостійного та співпрацюючого навчання, а також формуванню нової грамотності, тобто навичок цифрової епохи [4].

Модельна навчальна програма, підготовлена Григоровичем, привертає увагу до важливості формування компетентностей, перелічених у рамковому документі PISA-2025, в якому окреслюється необхідність зміни підходів до природничо-наукової освіти з урахуванням актуальних викликів (на особистому, місцевому, державному рівнях), які стоять перед світом, що швидко змінюється [3].

Рамковий документ PISA-2025 визначає три природничо-наукові компетентності:

1. Наукове пояснення явищ;
2. Планування та оцінювання наукових досліджень, а також критична інтерпретація даних;
3. Пошук, оцінювання та використання наукової інформації для прийняття рішень;

PISA-2025 підкреслює, що цифрова медіаграмотність є необхідною для кожного учня, особливо з огляду на те, що дослідження показують слабку здатність учнів оцінювати джерела [6]. Комп'ютерне оцінювання, запроваджене з 2015 року, відображає доступність цифрових інструментів у школах і дає можливість оцінити компетентності учнів через взаємодію з експериментальними симуляціями. Рамкова програма 2025 року також запроваджує концепцію наукової ідентичності, яка є більш комплексною, ніж попередній підхід «ставлення до науки» [6].

У раунді PISA 2022 року українські учні досягли найвищих результатів у природничих науках (450 балів) – з трьох напрямків (математика, читання, природничі науки) це було найменше відставання від середнього показника ОЕСР [7]. Важливо зазначити, що Україна змогла зібрати дані лише з 18 регіонів (із 27) через найбільш постраждалі від війни території, і Україна була єдиною країною, яка провела дослідження в умовах війни, що є великим і вирішальним досягненням [7]. Цей результат наполегливо підтверджує необхідність розвитку цифрових компетентностей у природничо-науковій освіті, оскільки в умовах війни особливо важливі цифрові інструменти, такі як дистанційне навчання, онлайн-лабораторії та мобільні

додатки. Наша мета – узагальнити, в яких темах і за допомогою яких інструментів можна розвивати цифрові компетентності на основі модельних навчальних програм.

У сьомому класі викладаються теми, показані на рисунку 1, на основі порівняння двох модельних навчальних програм [4,5]. Модельна навчальна програма, розроблена Григоровичем (ліве коло), зосереджується на фундаментальних поняттях хімії, особливо на структурі атома, періодичній системі та законах хімічних реакцій, забезпечуючи міцну теоретичну основу. Модельна навчальна програма, розроблена Лашевською (праве коло), спрямована на розвиток дослідницьких компетентностей, інтегруючи науковий метод, інженерне проектування та екологічну свідомість через управління відходами. Центральна зелена зона відображає спільні теми обох програм, які включають основи хімії як науки, лабораторну безпеку, а також вивчення властивостей речовин і сумішей. Обидві програми підходять для розвитку цифрових компетентностей.

Будова атома, електронна структура та періодична система є досить складною і важкою темою. Небагатьма експериментами можна проілюструвати викладання цих тем. Таким чином, тут можна сміливо використовувати цифрові інструменти, програми, які допомагають учням глибше зрозуміти тему.

Рис. 1. Теми, які викладаються в 7 класі на основі модельних навчальних програм, складених Григоровичем [4] та Лашевською [5]

Для цього дуже гарні завдання пропонує PhET © 2025 University of Colorado [8] – один із найвідоміших симуляційних веб-сайтів. Він надає безкоштовні, інтерактивні, дослідницькі, розважальні природничо-наукові та математичні симуляції. Симуляції написані на HTML5 (деякі старіші симуляції у форматі Java або Flash) і можуть працювати онлайн або завантажуватися на комп'ютер (режим офлайн-використання). Поруч з кожною симуляцією є посібники у форматі .pdf та завантажувані робочі аркуші, які можна заповнити за допомогою відповідної симуляції.

Для тем будови атома, електронної структури та періодичної системи знаходиться чотири симуляції, такі як побудова молекул; ізотопи та атомна маса; молекулярна геометрія; побудова атома (рисунок 2).

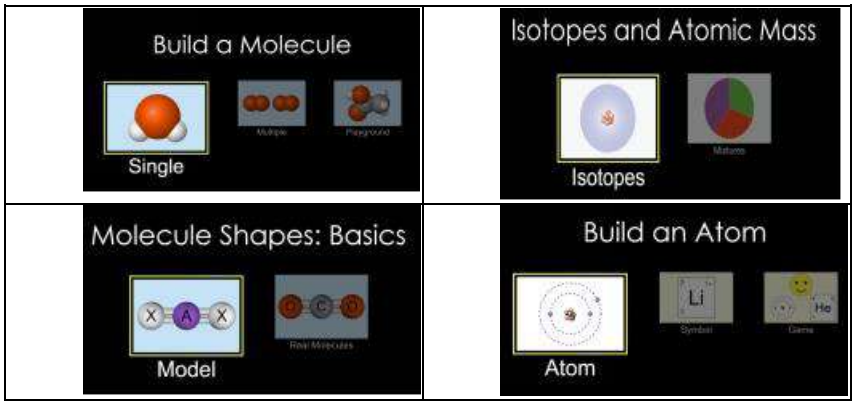


Рис.2. Симуляції PhET з теми будови атома та електронної структури

Для вивчення закономірностей періодичної системи можуть бути корисними інтерактивні періодичні системи. Прикладом є PtAble [9]. Це комплексний, багаторівневий навчальний ресурс, який дозволяє вивчати періодичну систему на різних рівнях глибини – від базових даних (атомна маса, атомний номер) до складної інформації (електронна структура, ступені окиснення, ізотопи, орбіталі). Додаток підтримує візуальне навчання за допомогою динамічного кольорового кодування, візуалізації трендів та 3D-зображення орбіталей, що допомагає конкретизувати абстрактні поняття. Підтримка 50 мов (включаючи українську) забезпечує глобальну доступність, тоді як безкоштовна веб-доступність особливо важлива для шкіл з обмеженою інфраструктурою. Додаток заохочує самостійне дослідження та дослідницьке навчання, оскільки учні можуть вільно переміщатися між елементами та глибоко занурюватися в інформацію, яка їх цікавить.

Розвиток цифрових компетентностей у викладанні хімії сьогодні вже не вибір, а необхідність, особливо у світлі цілей рамкової програми PISA-2025 та програми Нова українська школа. Результати українських учнів у природничих науках (450 балів), досягнуті в умовах війни, вказують на важливість цифрових інструментів, які є незамінними для дистанційного навчання та забезпечення безперервності навчання. Систематичне застосування цифрових інструментів може підвищити мотивацію учнів, підтримати дослідницьке навчання та сприяти популяризації хімії серед вікової групи 12-15 років.

1. Локшина О. І. (ред.). Моніторинг якості освіти: світові досягнення та українські перспективи. К.: K.I.S, 2004. 128 с. URL: https://www.ippo.if.ua/files/%D0%86%D0%9C/MON/Bobak.pdf

2. Лікарчук І. Непопулярні науки: чому фізика та хімія «не потрібні» більшості учнів. Освітній портал, 2021–2022. URL: https://op.ua/news/osvita-v-ukraini/nepopulyarni-nauki-chomu-fizika-ta-himiya-ne-potribni-bilshosti-uchniv

4. Міністерство освіти і науки України. Головна сторінка. URL: https://mon.gov.ua

5. Григорович О. В. Модельна навчальна програма «Хімія. 7–9 класи» для закладів загальної середньої освіти. Міністерство освіти і науки України, наказ №1575 від 27.12.2023. URL: https://mon.gov.ua/static-objects/mon/sites/1/zagalna%20serednya/Navchalni.prohramy/2023/Model.navch.prohr.5-9.klas/Pryrodnycha.osvitnya.haluz.2023/Khimiya.7-9.klas.Hryhorovych.29.12.2023.pdf

6. Лашевська Г. А. Модельна навчальна програма «Хімія. 7–9 класи» для закладів загальної середньої освіти. Міністерство освіти і науки України, наказ №1001 від 16.08.2023. URL: https://mon.gov.ua/static-objects/mon/sites/1/zagalna%20serednya/Navchalni.prohramy/2023/Model.navch.prohr.5-9.klas/Pryrodnycha.osvitnya.haluz.2023/Khimiya.7-9.klas.Lashevska.18.08.2023.pdf

7. OECD. PISA 2025 Science Framework. 2025. URL: https://pisa-framework.oecd.org/science2025/assets/docs/PISA_2025_Science_Framework.pdf

8. Statista. Ukraine: PISA results by category. 2025. URL: https://www.statista.com/statistics/1267956/ukraine-pisa-results-by-category/

9. University of Colorado Boulder. PhET Interactive Simulations. 2025. URL: https://phet.colorado.edu/

10. Dayah M. Ptable: Dynamic periodic table. 2025. URL: https://ptable.com/

ТРАНСФОРМАЦІЯ ЗМІСТУ ПІДГОТОВКИ МАЙБУТНІХ ХІМІКІВ: ВІД НАУКОВИХ РОЗРОБОК ДО НОВИХ ОСВІТНІХ СТРАТЕГІЙ

Поліщук Ігор Ігорович,
здобувач вищої освіти І курсу другого рівня вищої освіти, igpolyua@gmail.com
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Романишина Людмила Михайлівна,
доктор педагогічних наук, професор, Romanyshyna-L@zu.edu.ua
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Анічкіна Олена Василівна,
кандидат педагогічних наук, доцент, anichkina-o@zu.edu.ua
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Сучасна хімічна освіта перебуває в стані динамічних змін, що зумовлені як швидким розвитком науки, так і реформуванням системи забезпечення якості вищої освіти в Україні. Вимоги Національного агентства із забезпечення якості вищої освіти (НАЗЯВО) щодо оновлення освітніх програм передбачають постійне узгодження навчального змісту з актуальними науковими досягненнями, міждисциплінарними трендами та потребами суспільства. Особливо це стосується підготовки майбутніх хіміків, для яких важливо не лише засвоїти фундаментальні основи неорганічної хімії, а й навчитися працювати з новими науковими знаннями, методами та технологіями.

Інтеграція сучасних наукових розробок у зміст неорганічної хімії виступає одним із ключових напрямів трансформації освітнього процесу. Йдеться про включення до змісту освітніх компонент (обов'язкових і вибіркових) тем, пов'язаних із «зеленою» хімією, наноматеріалами, координаційними сполуками, функціональними неорганічними матеріалами, каталізом і новими джерелами енергії.

Як зазначають He Zhiyan, Lyu Shuai та Zhu Junjiang (2025), впровадження концепцій «зеленої хімії» у курси неорганічної хімії сприяє формуванню у здобувачів вищої освіти екологічної культури та розуміння ролі хімії в забезпеченні сталого розвитку суспільства [1].

Важливим аспектом трансформації є зміна методологічного підходу – від репродуктивного викладання до дослідницького навчання. Модель, що поєднує **SPOC-формат** (Small Private Online Course) із **перевернутим класом (Flipped Classroom Model)**, довела свою ефективність під час пандемії COVID-19, забезпечуючи вищу успішність здобувачів та більшу їхню залученість в освітній процес (Wang et al., 2022) [2].

Такі технології відкривають можливості для попереднього ознайомлення здобувачів вищої освіти з науковими публікаціями, аналітичних обговорень і групових міні-проєктів, що формують навички наукового мислення.

Використання цифрових інструментів, як то віртуальних лабораторій, 3D-моделювання, симуляцій реакцій та процесів, підсилює експериментальну складову навчання. Згідно з дослідженням *Modes of Technology Integration in Chemistry Teaching: Theory and Practice* (Akhmetov et al., 2024), технологічна інтеграція сприяє підвищенню когнітивної активності здобувачів вищої освіти, глибшому розумінню хімічних процесів і формуванню міждисциплінарних зв'язків [3].

Отже, оновлення освітнього змісту передбачає:

- перегляд навчальних модулів із неорганічної хімії з урахуванням нових дослідницьких напрямів (каталіз, наноматеріали, функціональні сполуки, хімія елементів перехідних металів) та інтеграції таких знань у зміст обов'язкових освітніх компонент, як невід'ємного складника, на противагу введенню окремих дисциплін у зміст освітньої програми;

- впровадження лабораторних занять дослідницького характеру, у яких здобувачі вищої освіти аналізують сучасні публікації, моделюють реакції, узагальнюють результати;
- розвиток науково-дослідницьких компетентностей не загалом, а в межах опанування компетентностями з неорганічної хімії, через міні-проєкти, участь у навчальних конференціях, долучення до роботи наукових гуртків;
- інтеграцію сучасних цифрових технологій у процес вивчення неорганічної хімії – від онлайн-візуалізацій до систем збору експериментальних даних.

Ці зміни відповідають ключовим принципам оновлення освітніх програм, визначеним у роз'ясненнях НАЗЯВО (2024): орієнтація на результати навчання, компетентнісний підхід, гнучкість і відкритість освітніх траєкторій [4].

Зміст, що базується на актуальних наукових розробках, формує у здобувачів вищої освіти не лише знання, а й **мотивацію**, розуміння, що хімія є живою, перспективною, затребуваною галуззю. Це сприяє підвищенню привабливості хімічної освіти, зменшенню відтоку абітурієнтів і зміцненню престижу спеціальності «Хімія».

Підсумовуючи, можна зазначити, що трансформація змісту підготовки майбутніх хіміків через інтеграцію сучасних наукових досягнень є не лише вимогою часу, а й ефективним інструментом розвитку якості освіти. Освітні програми, які базуються на дослідницькому підході, сприяють формуванню компетентностей XXI століття: критичного мислення, здатності до інновацій, екологічної відповідальності та професійної гнучкості. Саме через неорганічну хімію, як фундаментальну та водночас сучасну дисципліну, можна створити міст між наукою й освітою, що забезпечить стійкий розвиток хімічної галузі в Україні.

1. He Zhiyan, Lyu Shuai, Zhu Junjiang. The Integration of Green Chemistry Concepts into Inorganic Chemistry Education for Chemical Majors. *Education Reform and Development*, 2025. Vol 7, No 3. P. 283-289. URL: https://ojs.bbwpublisher.com/index.php/erd/article/view/10066

2. Wang Y., Zhang M., Li X. Research on the Teaching Reform of Inorganic Chemistry Based on SPOC and FCM during COVID-19. *Sustainability*. 2022, 14(9): 5707. DOI: 10.3390/su14095707

3. Itsik Aroch, Dvora Katchevich and Ron Blonder. Modes of Technology Integration in Chemistry Teaching: Theory and Practice. *Chemistry Education Research and Practice*, 2024, 25(3). P. 843-861. https://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2024/rp/d3rp00307h

4. Роз'яснення щодо застосування Критеріїв оцінювання якості освітньої програми: методичний посібник [Електронне видання] / А. Бутенко, Г. Денискіна, О. Єременко, О. Книш, І. Сімшаг, О. Требенко. Київ : Національне агентство із забезпечення якості вищої освіти, 2024. 127 с.

5. Reyes Ronald. Exploring Science Literature: Integrating Chemistry Research with Chemical Education. *Journal of Chemical Education*. 2023. DOI: 10.1021/acs.jchemed.3c00101

6. Elijah R. Farley, Victoria Fringer, Jacob W. Wainman. Simple Approach to Incorporating Experimental Design into a General Chemistry Lab. *Journal of Chemical Education.* 2021, 98, 2, 350-356. https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.0c00921

ЗАСТОСУВАННЯ СЕРВІСІВ GOOGLE У СУЧАСНОМУ ОСВІТНЬОМУ СЕРЕДОВИЩІ

Порхун Крістіна Вадимівна,
здобувач вищої освіти ІІ курсу, kristinaporhun7@gmail.com
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Авдєєва Ольга Юріївна,
доктор філософії, доцент, avdeeva8909@gmail.com
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Невід'ємною складовою сучасного освітнього процесу є впровадження технологій електронного навчання. Їх значення особливо зросло в період карантинних обмежень, спричинених пандемією Covid-19, а нині – після початку повномасштабної війни, коли всі рівні освітньої системи України були змушені перейти на дистанційні форми навчання. Протягом останніх десятиліть розроблено велику кількість цифрових інструментів і впроваджено різноманітні платформи для дистанційного або змішаного навчання [1-2]. Серед найбільш популярних систем управління освітнім процесом, що використовуються як безкоштовно, так і на комерційній основі в українських навчальних закладах, можна назвати Google Classroom, Microsoft Teams і Moodle [3]. Ці платформи активно застосовуються також у закладах освіти різних рівнів за кордоном.

Одним із найпоширеніших комплексів хмарного програмного забезпечення є Google Workspace. Проєкт було запущено 28 серпня 2006 року під назвою «Google Apps for Your Domain». За даними компанії Google, сьогодні сервісами Google Workspace for Education користуються близько 80 мільйонів користувачів у всьому світі: як окремі студенти, учні та викладачі, так і цілі освітні установи. Це набір інструментів, що забезпечують зручну, безпечну та гнучку платформу для навчання, спільної роботи й комунікації.

У межах проєкту Google Apps for Education компанія надає власні сервіси для безкоштовного використання навчальними закладами. Ці інструменти, об'єднані в межах одного корпоративного акаунта, створюють єдиний інформаційно-освітній простір із дисковим обсягом до 100 Тб. До цього середовища входять такі сервіси, як Gmail (електронна пошта), Google Calendar (календар), Google Drive (хмарне сховище даних), Google Docs (пакет для створення документів, таблиць і презентацій із можливістю спільного доступу), YouTube (відеохостинг), Google Translate (перекладач) тощо. Використання хмарних технологій, запропонованих компанією Google, надає змогу ефективно організовувати навчання, незалежно від обставин, забезпечуючи віддалений доступ до інструментів обробки та зберігання даних.

Найбільш популярним серед українських педагогів останніми роками став безкоштовний сервіс Google Classroom, розроблений спеціально для освітніх закладів. Його основною метою є спрощення процесу створення, поширення та оцінювання навчальних завдань, а також полегшення обміну файлами між викладачами й здобувачами освіти. Дослідники відзначають, що Google Classroom має весь необхідний функціонал для повноцінного впровадження дистанційного чи змішаного навчання, поєднуючи переваги онлайн-ресурсів із традиційними методами роботи в аудиторії [4].

Опрацювання нових тем може відбуватися у дистанційному форматі з використанням Google Meet, Google Презентацій, Google Jamboard, або ж безпосередньо в аудиторії під час очного навчання. Лекційні заняття можуть бути доповнені мультимедійними презентаціями, створеними за допомогою зазначених інструментів. Практичні заняття доцільно проводити у лабораторіях університету, проте за потреби вони також можуть бути організовані онлайн із використанням Google Classroom, Google Sites, Google Trends, Google Scholar.

Важливою складовою педагогічної технології є оцінювання, яке можна ефективно здійснювати за допомогою інструментів Google Forms та Google Classroom, поєднуючи

цифровий формат з безпосереднім спілкуванням під час опитувань, дискусій чи співбесід. Не менш значущим етапом освітнього процесу є рефлексія, під час якої викладач може внести корективи до змісту або організації навчання, а студент – оцінити власні досягнення та визначити напрями подальшого розвитку.

Отже, аналіз цифрових інструментів Google свідчить, що вони є потужним засобом удосконалення освітнього процесу в умовах сучасних викликів. Переваги використання Google-сервісів у змішаному та дистанційному навчанні значно перевищують можливі ризики.

1. Генсерук Г., Бойко М., Мартинюк С. Цифрові інструменти комунікації в освітньому процесі закладу вищої освіти. *Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету імені Володимира Гнатюка. Серія: педагогіка*. 2022. Вип. 1 (1). 31–39. URL: https://doi.org/10.25128/2415-3605.22.1.4

2. Павліченко Т. Чотири сервіси, які допоможуть організувати дистанційне навчання. URL: https://nus.org.ua/articles/chotyry-servisy-yaki-dopomozhut-organizuvaty-dystantsijne-navchannya/

3. Гайтан О. М. Порівняльний аналіз можливостей використання інструментарію вебінарорієнтованих платформ Zoom, Google Meet та Microsoft teams в онлайн-навчанні. Інформаційні технології і засоби навчання. 2022. Вип. 87 (1). С. 33–67. URL: https://doi.org/10.33407/itlt.v87i1.4441 4.

4. Богачков Ю. М., Букач А. В., Ухань П. С. Комплексне застосування Google Classroom для створення варіативних дистанційних курсів. Інформаційні технології і засоби навчання. 2020. Вип. 76 (2). С. 290–303. URL: https://doi.org/10.33407/itlt.v76i2.3338

ОСВІТА СТАЛОГО РОЗВИТКУ У ДЗЕРКАЛІ НЕОРГАНІЧНОЇ ХІМІЇ: ІНТЕГРАЦІЯ ПРИНЦИПІВ ЗЕЛЕНОЇ ХІМІЇ У ПРОФЕСІЙНУ ПІДГОТОВКУ МАЙБУТНІХ ХІМІКІВ

Приймак Тетяна Олександрівна,
здобувач вищої освіти І курсу другого рівня вищої освіти, **pryimakteto**@ukr.net
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Романишина Людмила Михайлівна,
доктор педагогічних наук, професор, Romanyshyna-L@zu.edu.ua
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Анічкіна Олена Василівна,
кандидат педагогічних наук, доцент, anichkina-o@zu.edu.ua
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

У сучасному освітньому просторі підготовка фахівців-хіміків вимагає не лише глибокого засвоєння традиційних класичних для хімічної науки дисциплін, але й осмислення їхньої ролі у вирішенні глобальних екологічних, соціальних і технологічних викликів. Зокрема інтеграція принципів зеленої хімії до освітнього процесу стає важливим напрямом оновлення освітніх програм, що відповідає стратегічним завданням сталого розвитку. У контексті професійної підготовки майбутніх хіміків актуальним постає завдання теоретико-методологічного обґрунтування та подальшої апробації системного підходу до впровадження зеленої хімії як самостійної складової освітнього процесу або елемента змісту освітніх компонент.

Теоретичне підґрунтя полягає в розумінні зеленої хімії як напряму, що передбачає застосування принципів попередження нагромадження відходів, максимізації «економії атомів», використання безпечніших речовин і розчинників, підвищення енергоефективності, відмову від небезпек там, де це можливо. Сучасна філософія хімічних досліджень та інженерії, яка спрямована на розробку продуктів і процесів, що мінімізують або усувають використання та утворення небезпечних речовин, тим самим зменшуючи негативний вплив на здоров'я людей та довкілля – GSC (англ. Green and Sustainable Chemistry – «зелена та стійка хімія») [5]. Будучи науково-методологічним підходом до організації освітнього процесу передбачає інтеграцію принципів і включає: формування відповідних навчальних результатів (компетентностей) для майбутніх хіміків, розробку навчальних модулів із тематики зеленої хімії, застосування методів активного й дослідницького навчання, створення проєктних і лабораторних завдань-міні-досліджень, а також оцінювання здобутих компетентностей із акцентом на екологічну й соціальну відповідальність. Наприклад, у роботі Zuin V. G. та ін. (2021) підкреслюється, що «вивчення зеленої хімії (GCE) та хімії сталого розвитку (SCE) … мають вирішальну роль для підготовки висококваліфікованих фахівців» з між/транс-дисциплінарним мисленням [1].

Методологічно важливим є поєднання традиційної дисциплінарної структури (у нашому випадку – неорганічна, аналітична, фізична хімія) з тематичними блоками зеленої хімії, трансверсальними змістами (наприклад, сталий розвиток, екологічна безпека, енергетика, біоматеріали) і дослідницькими компонентами. Експериментальна апробація передбачає реалізацію таких елементів в освітньому процесі: розробку інструкцій до лабораторних занять чи практик, які демонструють застосування «зелених» принципів (наприклад, лабораторія з синтезу матеріалів із зменшеною токсичністю або з використанням безпечніших розчинників), проведення міні-проєктів здобувачами вищої освіти, анкетування та аналіз мотивації і результатів навчання.

У прикладній частині можна взяти за основу модулі, запропоновані в системі Green Chemistry Teaching & Learning Community (GCTLC), зокрема модуль «Inorganic Chemistry» із акцентом на зелений підхід [2]. Дослідження The Integration of Green Chemistry Concepts into

Inorganic Chemistry Education for Chemical Majors (He Zhiyan, Lyu Shuai, Zhu Junjiang, 2025) демонструє стратегічну модель інтеграції зеленої хімії до навчального курсу неорганічної хімії через три стовпи: інновації в програмі, розвиток викладачів, міждисциплінарні зв'язки [3]. Вона підтверджує, що такий підхід не лише підвищує наукову грамотність здобувачів вищої освіти, але й сприяє екологічній свідомості та формуванню дослідницьких компетентностей.

У процесі апробації запропоновано такі кроки:

1. Редизайн обов'язкової освітньої компоненти («Неорганічна хімія»): виділення ~30 %-40 % часу на тематику зеленої хімії (синтез із меншою токсичністю, каталітичні процеси, матеріали з відновлюваних джерел, енергоефективні методи).

2. Створення лабораторних задач-міні-досліджень: здобувачі обирають дослідницьку тему, працюють із науковою літературою, моделюють або експериментують, готують звіт із акцентом на сталий розвиток.

3. Використання інтерактивних технологій: онлайн-ресурси, відео-лекції, модулі перевернутого класу, групова робота – як інструменти активації студентської діяльності.

4. Моніторинг ефекту: оцінювання не лише знань з дисципліни, але й зміни ставлення до хімії, мотивації до спеціальності, готовності до дослідницької діяльності, екологічної свідомості (що підтверджується аналізом літератури: що інтеграція зеленої хімії корелює з підвищенням мотивації). Наприклад, роботі Andraos J., Dicks A. (2012) вказує на успішність практик у вищій освіті [4].

Очікувані результати: підвищення рівня залученості здобувачів вищої освіти, активізація їхньої дослідницької діяльності вже на бакалаврському рівні, підвищення престижу спеціальності «Хімія» через її сучасний і відповідальний образ. Освітня програма, що враховує принципи зеленої хімії, створює атмосферу наукового пошуку, соціальної відповідальності і технологічної актуальності – ключові чинники залучення та утримання студентів-хіміків.

У підсумку, інтеграція принципів зеленої хімії у професійну підготовку майбутніх хіміків є не лише доцільною, але й стратегічно необхідною. Теоретико-методологічне обґрунтування дає основу для системного впровадження, а експериментальна апробація відкриває перспективу для реальних змін у змісті, формах і методах навчання. Освітня програма, яка налаштована на сталий розвиток, формує у випускників не тільки знання, але й компетентності, які спрямовані на інновації, екологічну відповідальність і дослідницьку діяльність, а це в умовах сучасної хімічної освітньої та професійної практики є вагомою конкурентною перевагою.

1. Zuin V. G., Eilks I., Elschami M., Kümmerer K. Education in green chemistry and in sustainable chemistry: perspectives towards sustainability. *Green Chemistry.* 2021, 23, 1594-1608. DOI: 10.1039/D0GC03313H

2. Michael Cann. Inorganic Chemistry. *Green chemistry teaching & Learning Community.* https://gctlc.org/inorganic-chemistry

3. He Zhiyan, Lyu Shuai, Zhu Junjiang. The Integration of Green Chemistry Concepts into Inorganic Chemistry Education for Chemical Majors. *Education Reform and Development.* 2025, 7(3), 283-289. DOI: https://doi.org/10.26689/erd.v7i3.10066

4. Andraos J., Dicks A. P. Green chemistry teaching in higher education: a review of effective practices. *Chemistry Education Research and Practice*. 2012, 13, 69-79. DOI: 10.1039/C1RP90065J

5. MacKellar J. J., Constable D. J. C., Kirchhoff M. M., Hutchison J. E., Beckman E. Toward a Green and Sustainable Chemistry Education Road Map. *Journal of Chemical Education.* 2020, № 8, p. 2104-2113. DOI: 10.1021/acs.jchemed.0c00288

6. Irfani F. Green chemistry in education: A bibliometric study and research trends (2002–2022). *Journal of Education for Sustainable Development Studies*. 2024, 1(1), 1-14. https://doi.org/10.70232/rq1cmx05

РОЛЬ МУЛЬТИМЕДІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ У СТВОРЕННІ ІНТЕРАКТИВНОГО ОСВІТНЬОГО СЕРЕДОВИЩА З ХІМІЇ

Раєць Вікторія Володимирівна,
здобувач вищої освіти ІІ курсу другого (магістерського) рівня вищої освіти,
victoria.vladimirovna24@gmail.com
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Авдєєва Ольга Юріївна,
доктор філософії, доцент, avdeeva8909@gmail.com
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

У сучасних умовах цифрової трансформації освіти дедалі більшого значення набуває інтеграція мультимедійних технологій у процес викладання природничих дисциплін, зокрема хімії. Мультимедійні інструменти забезпечують можливість глибшого розуміння складних теоретичних і практичних аспектів хімічної науки, сприяють формуванню дослідницьких навичок і розвивають пізнавальну активність здобувачів вищої освіти [1].

Інтерактивне навчання хімії, побудоване на основі мультимедійних засобів, дозволяє активізувати процес пізнання, підвищити мотивацію до навчання, сприяє розвитку критичного мислення, вміння аналізувати, робити висновки та застосовувати знання на практиці. У системі вищої освіти мультимедійні технології створюють інтерактивне освітнє середовище, яке поєднує текстові, графічні, аудіо-, відео- та анімаційні ресурси, що забезпечує цілісне представлення навчального матеріалу та підвищує якість його засвоєння [2].

Використання мультимедіа у викладанні хімії передбачає демонстрацію молекулярних структур, візуалізацію перебігу реакцій, моделювання кінетичних і термодинамічних процесів, а також виконання віртуальних хімічних експериментів у безпечних умовах. Такі підходи не лише підвищують ефективність навчального процесу, а й дають можливість формувати професійні компетентності майбутніх фахівців-хіміків [3].

Застосування інтерактивних платформ – MozaBook, Google Slides, Canva, Microsoft PowerPoint – сприяє створенню навчальних симуляцій, відеолекцій, електронних посібників і презентацій, які дозволяють візуалізувати закономірності хімічних процесів, спостерігати перебіг реакцій у динаміці, аналізувати отримані результати та отримувати миттєвий зворотний зв’язок [4]. Це підсилює самостійну дослідницьку діяльність здобувачів освіти, формує їхню інформаційну та цифрову компетентність.

Мультимедійні технології також забезпечують умови для реалізації принципів змішаного та дистанційного навчання, що є особливо актуальним у сучасному освітньому просторі. Цифрові ресурси дозволяють викладачам створювати інтерактивні лекції, тестові завдання, віртуальні лабораторії та науково-дослідницькі проєкти, у яких здобувачі освіти виступають активними суб’єктами навчальної діяльності. Використання мультимедіа сприяє розвитку комунікативних навичок, підготовці до фахової наукової діяльності та формуванню здатності працювати з електронними науковими базами даних [5].

Переваги впровадження мультимедійних технологій у викладанні хімії у закладах вищої освіти проявляються у підвищенні рівня індивідуалізації навчання, забезпеченні диференційованого підходу, розвитку креативного мислення, формуванні системного бачення хімічних процесів. Для викладача це – можливість ефективно структурувати навчальний матеріал, урізноманітнювати методи подачі інформації та здійснювати наочний контроль засвоєння знань. Для здобувача – це доступ до візуально привабливого, логічно впорядкованого навчального контенту, можливість повторного перегляду матеріалів, участі в інтерактивних дискусіях і практичних завданнях.

Таким чином, ефективне використання мультимедійних технологій у навчанні хімії у закладах вищої освіти сприяє не лише підвищенню якості професійної підготовки здобувачів освіти, а й розвитку їхніх ключових компетентностей, самостійності, критичного мислення та

наукової культури. Перспективним напрямом подальших досліджень є розроблення методичних рекомендацій щодо інтеграції мультимедійних засобів у систему професійної підготовки майбутніх хіміків.

1. Гуржій А. М., Гуревич Р. С., Коношевський Л. Л., Коношевський О. Л. Мультимедійні технології та засоби навчання : навч. посіб. / за ред. А. М. Гуржія. Вінниця : Нілан-ЛТД, 2017. 556 с. URL:http://bit.ly/4aRYZmT (Дата звернення 01.10.2025).

2. Жалдак М. І., Шут М. І., Жук Ю. О., Дементієвська Н. П., Пінчук О. П., Соколюк О. М., Соколов П. К. Мультимедійні системи як засоби інтерактивного навчання: посібник / за ред. Ю. О. Жука. Київ.: Педагогічна думка, 2012. 112 с. https://lib.iitta.gov.ua/id/ eprint/618/4/ Multymed_syst_posibn.pdf (Дата звернення 03.10.2025)

3. Марчук Н. А. Використання хмарних технологій під час вивчення математичних дисциплін у вищих навчальних закладах. Інновації в сучасній освіті: методологія, технологія, дидактичні та виховні аспекти. Монографія. 2023. С. 177-184 URL: http://188.190.33.55:7980/ jspui/handle/123456789/ 11340 (Дата звернення 20.10.2025).

4. Інтерактивні методи навчання у старшій школі / упоряд. О. М. Кондратюк. Київ: Шкільний світ, 2011. 104 с.

5. Іщенко В. Інноваційне забезпечення педагогічного процесу через проєктну діяльність. Науково-методичний посібник / За редакцією С. М. Шевцової, І. Г. Єрмакова, О. В. Батечко, В. О. Жадька. Київ: Департамент, 2008. 520с.

6. Морзе Н. В., Кочарян А. Б. Модель стандарту ІКТ-компетентності викладачів університету в контексті підвищення якості освіти. Інформаційні технології і засоби навчання. №5. 2014. с. 27–39.

ВИКОРИСТАННЯ МУЛЬТИМЕДІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ З МЕТОЮ АКТИВІЗАЦІЇ ІНТЕРАКТИВНОГО НАВЧАННЯ ХІМІЇ

Римар Олена Олександрівна,
здобувач вищої освіти ІІ курсу другого (магістерського) рівня вищої освіти,
olena230703@gmail.com
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Авдєєва Ольга Юріївна
доктор філософії, доцент, avdeeva8909@gmail.com
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Сучасна система вищої освіти перебуває в умовах активної цифровізації, що зумовлює потребу впровадження інноваційних технологій у навчальний процес. Одним із найефективніших напрямів модернізації є використання мультимедійних технологій, які забезпечують інтерактивність, наочність і підвищення ефективності засвоєння знань, особливо у вивченні хімічних дисциплін [1]. Хімія як природнича наука відзначається високим рівнем абстрактності, складністю структурно-енергетичних уявлень і небезпечністю багатьох експериментів. Тому традиційні методи навчання часто не дозволяють повною мірою забезпечити розуміння складних процесів на мікрорівні. Використання мультимедіа дозволяє долати ці обмеження завдяки можливості візуалізації хімічних явищ, демонстрації реакцій у реальному часі, моделюванню молекулярних процесів та аналізу результатів експериментів [2].

Мультимедійні технології поєднують текстову, графічну, аудіо- та відеоінформацію, що забезпечує комплексний вплив на пізнавальну діяльність здобувачів освіти. Застосування інтерактивних ресурсів, таких як симулятори, анімаційні моделі, віртуальні лабораторії, значно підвищує інтерес студентів до вивчення хімії та сприяє формуванню навичок наукового мислення. Наприклад, ресурси PhET, ChemLab, Labster надають змогу безпечно проводити експерименти у віртуальному середовищі, аналізуючи результати за допомогою інтерактивних графіків та відеомоделей [3]. Такі інструменти формують компетентності, пов’язані з дослідницькою діяльністю, критичним мисленням та цифровою грамотністю.

Особливої уваги в сучасному освітньому процесі заслуговують технології доповненої (Augmented Reality, AR) та віртуальної реальності (Virtual Reality, VR). Вони відкривають новий рівень інтерактивності, коли студент може не лише спостерігати процес, а й взаємодіяти з ним. За допомогою AR-технологій можливо візуалізувати просторову структуру молекул, хімічних решіток або реакційних механізмів безпосередньо у фізичному просторі. Це створює ефект «занурення» у навчальний матеріал і робить навчання більш усвідомленим. Наприклад, програми типу Merge EDU або AR Chemistry дозволяють «побачити» тривимірні моделі молекул чи кристалічних ґрат у реальному середовищі, що допомагає студентам краще зрозуміти взаємозв’язки між атомами, типи зв’язків і геометрію молекул.

У свою чергу, VR-технології забезпечують створення повноцінного віртуального навчального простору, у якому здобувач може проводити експерименти, не ризикуючи здоров’ям чи обладнанням. Віртуальні лабораторії дають змогу змінювати умови реакцій, спостерігати кінетику процесів, експериментувати з концентраціями речовин і температурою. Такі середовища, як Labster або Google Expeditions, формують у студентів дослідницький підхід до навчання, розвивають самостійність та ініціативність [4].

Інтеграція AR і VR у хімічну освіту сприяє розвитку просторової уяви, підвищенню рівня розуміння будови речовини та процесів на атомно-молекулярному рівні. Важливо, що ці технології також дозволяють реалізувати принципи інклюзивності — створювати адаптивні середовища для студентів із різними рівнями підготовки, стилями навчання або фізичними обмеженнями.

Окрім того, використання мультимедіа в хімічній освіті дає змогу здійснювати змішане

та дистанційне навчання, де мультимедійні матеріали, віртуальні лабораторії та інтерактивні тести інтегруються в системи управління навчанням (LMS), такі як Moodle чи Google Classroom. Це робить освітній процес гнучкішим, надаючи можливість студентам самостійно опрацьовувати матеріал у зручний час, а викладачам — контролювати результати навчання в онлайн-режимі.

Таким чином, мультимедійні технології, зокрема AR та VR, є не лише допоміжним засобом у викладанні хімії, а й потужним інструментом для створення інтерактивного, наочного та безпечного освітнього середовища. Вони підвищують мотивацію до навчання, сприяють розвитку критичного мислення та формуванню практичних компетентностей. Подальший розвиток цифрових освітніх технологій у сфері хімічної освіти відкриває нові перспективи для інноваційного викладання, забезпечуючи глибше розуміння матеріалу та підготовку конкурентоспроможних фахівців у галузі природничих наук [1–4].

1. Гринько В. В. Інформаційні технології в освіті: навчальний посібник. Київ: Либідь, 2018. 256 с.

2. Козак Л. М. Мультимедійні технології у навчанні хімії. Хімія і життя. 2020. № 3. С. 45–50.

3. PhET Interactive Simulations [Електронний ресурс]. URL : https://phet.colorado.edu

4. Бондаренко С. І., Савченко О. П. Використання віртуальних лабораторій у хімічній освіті. *Освіта і наука*. 2021. Т. 23, № 4. С. 112–120.

СУЧАСНІ ЦИФРОВІ ІНСТРУМЕНТИ ВИВЧЕННЯ ХІМІЧНИХ ОСВІТНІХ КОМПОНЕНТ У ЗАКЛАДІ ВИЩОЇ ОСВІТИ

Римар Олена Олександрівна,
здобувач вищої освіти VI курсу, olena230703@gmail.com
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Анічкіна Олена Василівна
завідувач кафедри хімії, кандидат педагогічних наук, доцент кафедри хімії
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Цифровізація освіти є однією з найхарактерніших ознак сучасної епохи, і саме вона зумовлює появу нових підходів до організації навчального процесу. Особливо це стосується хімічної освіти, адже хімія як наука поєднує експериментальний, аналітичний і теоретичний компоненти, які вимагають від студентів глибокого розуміння, просторової уяви та практичних навичок. Використання сучасних цифрових технологій у викладанні хімічних дисциплін дозволяє підвищити ефективність навчання, зробити процес пізнання більш наочним, інтерактивним і доступним [1].

Одним із найважливіших напрямів цифровізації хімічної освіти є впровадження віртуальних лабораторій (Virtual Chemistry Labs). Такі середовища дозволяють студентам проводити експерименти у безпечних умовах, спостерігати хімічні реакції, моделювати процеси, які у звичайній лабораторії можуть бути небезпечними, тривалими або потребувати дорогого обладнання. Віртуальні лабораторії надають можливість самостійного експериментування та розвитку дослідницького мислення, що особливо важливо для підготовки майбутніх фахівців-хіміків. Науковці зазначають, що такі платформи, як ChemCollective, Labster, PhET або Virtual Chemistry Experiments, сприяють формуванню глибшого розуміння хімічних процесів завдяки інтерактивності та візуалізації [2].

Не менш важливим інструментом у цифровому середовищі є інтерактивні симуляції. Проєкт PhET Interactive Simulations, розроблений при Університеті Колорадо, став одним із найуспішніших прикладів інтеграції таких симуляцій у навчання. Він дає змогу студентам візуально досліджувати будову атомів, електронні орбіталі, хімічні зв'язки та реакції, змінюючи параметри системи в режимі реального часу. Завдяки цьому студенти можуть самостійно відкривати закономірності, спираючись на власні спостереження, що відповідає принципам конструктивістського підходу в освіті [3].

Крім того, сьогодні активно впроваджуються інтерактивні освітні платформи – Google Classroom, Moodle, Edmodo, Microsoft Teams – які дають можливість інтегрувати цифрові матеріали, відеолекції, тести, симуляції та лабораторні звіти в єдину систему. Ці ресурси дозволяють створювати цілісне цифрове освітнє середовище, у якому студенти можуть отримувати зворотний зв'язок у реальному часі, відстежувати власний прогрес і взаємодіяти з викладачем. Це сприяє не лише гнучкості навчання, а й підвищує мотивацію до самостійної роботи [4].

Суттєве місце у цифровій трансформації освіти посідають технології доповненої та віртуальної реальності (AR/VR). Вони відкривають перед студентами можливість занурення у тривимірний світ молекулярних структур, реакцій і процесів, що дозволяє краще засвоїти просторові уявлення про атоми, молекули й кристалічні решітки. Наприклад, платформи MEL Chemistry VR та MolecularWeb XR дають змогу «вступити всередину молекули» і побачити взаємодію атомів під час реакцій. Дослідження показують, що використання таких технологій підвищує рівень розуміння абстрактних понять і покращує довготривале запам'ятовування навчального матеріалу [5].

Варто згадати й про інструменти обробки та аналізу експериментальних даних, які використовуються під час вивчення хімічних освітніх компонентів. Це, зокрема, Jupyter Notebook, OriginPro, ChemDraw, Avogadro, які допомагають студентам візуалізувати

результати експериментів, будувати графіки, створювати моделі молекул та проводити обчислення. Поєднання теоретичних знань і практичних навичок роботи з цифровими аналітичними засобами сприяє формуванню компетенцій, необхідних для сучасного хіміка-дослідника [6].

Особливе значення мають електронні навчальні ресурси та відеоконтент, які забезпечують можливість асинхронного навчання. Освітні платформи, такі як Khan Academy, Coursera, EdX, пропонують курси з органічної, неорганічної, аналітичної хімії, біохімії тощо. Використання мультимедійних лекцій і демонстрацій хімічних процесів дозволяє студентам засвоювати матеріал у власному темпі, що є особливо корисним у системі змішаного навчання.

Водночас цифрові технології створюють нові виклики: технічні обмеження, нестача цифрових навичок у викладачів, перевантаження інформацією та потреба у педагогічно обґрунтованому використанні технологій. Для подолання цих проблем необхідна системна підготовка викладачів, методична підтримка та інтеграція цифрових інструментів у навчальні програми на рівні університетів [2, 4].

Таким чином, сучасні цифрові інструменти у хімічній освіті — це не лише допоміжний засіб навчання, а потужний механізм розвитку пізнавальної активності студентів, формування дослідницьких навичок і підготовки до майбутньої професійної діяльності. Вони змінюють саму філософію навчального процесу, роблячи його гнучким, наочним і зорієнтованим на компетентності XXI століття.

1. Бондар О. Сучасні цифрові технології у викладанні природничих дисциплін у закладах вищої освіти. *Освітній простір України*. 2021, №3, с. 45–51.

2. Кузьменко Н. В. Інноваційні методи навчання хімії з використанням мультимедійних ресурсів. *Хімічна освіта*. 2020, №2, с. 18–23.

3. Поліщук І. М., та Гончар Л. В. Використання віртуальних лабораторій у процесі підготовки фахівців-хіміків. *Наукові записки Національного педагогічного університету імені М. П. Драгоманова. Серія: Педагогічні науки*. 2022, №152, с. 102–108.

4. Лисенко, Т. С. Інтерактивні цифрові платформи для розвитку компетентностей студентів-хіміків. *Інформаційні технології і засоби навчання*. 2021, т. 84, №4, с. 65–74.

5. Федоренко, Ю. О. Цифровізація освітнього середовища та її вплив на якість навчання хімії. *Проблеми сучасної освіти*. 2022, №1, с. 33–39.

6. National Research Council. Transforming Undergraduate Education in Science, Technology, Engineering, and Mathematics. Washington, DC: The National Academies Press, 2020.

ВІД ЕКСПЕРИМЕНТУ ДО ДОСЛІДУ: МОДЕРНІЗАЦІЯ НАУКОВОЇ СКЛАДОВОЇ ПРОФЕСІЙНОЇ ПІДГОТОВКИ МАЙБУТНІХ ХІМІКІВ

Самійлик Марія Вадимівна,
здобувачка вищої освіти ІІ курсу другого рівня вищої освіти, tanskamary@ukr.net
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Романишина Людмила Михайлівна,
доктор педагогічних наук, професор, Romanyshyna-L@zu.edu.ua
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Анічкіна Олена Василівна,
кандидат педагогічних наук, доцент, anichkina-o@zu.edu.ua
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Хімічна освіта завжди була дзеркалом наукового розвитку суспільства. У XXI столітті, коли знання множаться швидше, ніж їх устигає відобразити підручник, завдання університету полягає не лише в передаванні змісту, а у формуванні наукового мислення як способу життя**.**

Професійна підготовка хіміків сьогодні не може обмежуватися набором навчальниз дисциплін і практик, адже її сутність полягає в здатності випускника досліджувати, експериментувати, ставити питання й шукати докази**,** а не просто відтворювати відомі істини. Реалізація наукової складової в підготовці фахівців це усталений процес, який потребує модернізації, з огляду на зміну парадигми освіти та її культури.

У структурі підготовки хіміка наука виступає не окремим компонентом**,** а стрижнем, що поєднує теорію, практику й світогляд. Формування дослідницької компетентності вимагає:

- інтеграції освітніх компонент навколо дослідницьких проєктів;
- розгортання практико-орієнтованих лабораторій**,** де здобувач вищої освіти стає не спостерігачем, а співавтором експерименту;
- упровадження елементів наукової творчості з перших курсів навчання, через міні-дослідження, наукові гуртки та проблемні групи, участь у студентських конференціях;
- формування презентаційно-комунікаційних навичок, як способу подолання втрат спілкування та самопредставлення, набутого в часи дистанційного навчання та необхідного для організації наукової співпраці.

Наукова складова виконує роль платформи самостійності**.** Коли здобувач вищої освіти починає ставити власні завдання в ході дослідження речовини, процесу чи методу, він перестає бути просто адептом викладача та стає дослідником.

Сучасна університетська хімічна освіта стикається з низкою викликів:

1. Дисбаланс між фундаментальною та прикладною підготовкою. Часто здобувачі вищої освіти добре володіють технікою експерименту, але не мають системного розуміння його теоретичних засад, що позбаляє можливості трансформувати та модернізувати його.
2. Недостатня науково-дослідницька активність на бакалаврському рівні. Більшість здобувачів вищої освіти долучаються до реальної науки лише на етапі виконання кваліфікаціної роботи.
3. Застарілі лабораторні бази. Відсутність сучасного обладнання обмежує можливість відтворення актуальних експериментів.
4. Слабка інтеграція в міжнародний науковий простір. Участь здобувачів вищої освіти в міжнародних дослідницьких програмах поки залишається епізодичною.

Проте саме ці виклики створюють умови для оновлення змісту підготовки та пошуку нових форм наукової взаємодії.

Модернізація передбачає не лише технічне оновлення лабораторій, а й зміну освітньої філософії, що закладена в зміст і родзинки освітніх програм. Основними напрямами трансформації є:

1. Проєктно-дослідницьке навчання. Відповідно до рекомендацій OECP (2020), найефективнішими є освітні програми, у яких навчальні модулі побудовані навколо реальних наукових проблем. Наприклад, студентські мініпроєкти з тем екологічного моніторингу, хімії довкілля, біохімії харчових продуктів поєднують експеримент, аналіз і міждисциплінарність.

2. Наукові хаби та студентські лабораторії відкритого типу. Вони стають простором свободи, де здобувачі вищої освіти мають змогу ініціювати власні експерименти, конструювати прості прилади, працювати над ідеями стартапів. Такі практики формують не лише дослідника, а й інноватора.

3. Інтеграція з міжнародними освітньо-науковими платформами (Erasmus+, Horizon Europe, COST). Це дозволяє розширити горизонти професійної мобільності та включити українську хімічну освіту в європейський контекст.

4. Менторська модель наукового керівництва. Викладач стає не джерелом істини, а партнером у пошуку, який допомагає здобувачу вищої освіти розуміти логіку експерименту та цінність невдач як етапів пізнання.

Реалізація наукової складової передбачає створення освітньо-наукового середовища, де межа між аудиторією й лабораторією стирається. До найефективніших практик можна віднести:

- участь здобувачів вищої освіти в спільних дослідженнях кафедр і наукових інститутів НАН України;
- використання цифрових технологій у дослідженнях (молекулярне моделювання, віртуальні лабораторії, аналітика великих даних);
- створення міжкафедральних дослідницьких груп, які працюють над екологічними, медичними, матеріалознавчими проблемами;
- долучення здобувачів вищої освіти до створення наукових публікацій, підготовки тез і доповідей на конференціях.

Такий підхід сприяє формуванню наукової ідентичності – відчуття належності до наукової спільноти, яке мотивує залишатися в науці після завершення навчання.

Сьогодні наука стає каталізатором інновацій, а хімічна освіта – середовищем їх народження. На перетині фундаментальних знань і прикладних технологій виникають нові напрями: нанохімія, біоорганічна хімія, хімічна екологія, енергетичні матеріали.

Модернізація освітніх програм має відображати ці тенденції, готуючи здобувачів вищої освіти до досліджень, які формують обличчя майбутньої науки. Замість «навчання професії» реалізовувати навчання творчості**,** замість «передавання знань» – їх створення.

Таким чином, наукова складова професійної підготовки хіміків є ключем до підвищення якості освіти та розвитку наукового потенціалу держави, а модернізація системи вищої хімічної освіти потребує інтеграції навчання з дослідженням, підтримки студентських наукових ініціатив і міжнародної співпраці. Формування наукового мислення майбутніх хіміків це не лише шлях до професійної майстерності, а й до особистісного становлення, відповідального ставлення до світу й професії. Реалізація наукової складової в освітньому процесі стане інвестицією в майбутню Україну науки, інновацій і творчого розвитку**.**

1. OECD Science, Technology and Innovation Outlook 2021: Times of Crisis and Opportunity, OECD Publishing, Paris, 2021. https://doi.org/10.1787/75f79015-en.

2. Bybee R. W. *The Case for STEM Education: Challenges and Opportunities*. 2013. NSTA Press. 131 p. https://museumofaviation.org/wp-content/uploads/2019/07/The_Case_for_STEM_Education.pdf

3. Hmelo-Silver C. E., Duncan R. G., Chinn C. A. Scaffolding and Achievement in Problem-Based and Inquiry Learning: A Response to Kirschner, Sweller, and Clark (2006). 2007. *Educational Psychologist*, 42(2), 99–107.https://doi.org/10.1080/00461520701263368

4. Kolb D. A. Experiential Learning: Experience as the Source of Learning and Development. Pearson FT Press. 2015. 377 p.

НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ГРУПОВОЇ РОБОТИ В УМОВАХ ДИСТАНЦІЙНОГО НАВЧАННЯ

Семерик Олександра Сергіївна,
здобувачка третього (освітньо-наукового) рівня вищої освіти,
olexandrasemeryk@gmail.com
Вінницький державний педагогічний університет
імені Михайла Коцюбинського, Україна

Реформування освіти у межах концепції «Нова українська школа» передбачає впровадження ефективних форм навчальної взаємодії, спрямованих на розвиток ключових компетентностей і наскрізних умінь. Про необхідність організації співпраці між учнівством у складі груп наголошено у чинних законодавчих і нормативних документах [3, 5]. Безперечно, дидактичний потенціал групової роботи може бути повною мірою реалізований лише за умови використання якісного навчально-методичного забезпечення. Водночас під час дистанційного формату воно може бути відмінним від такого в очному навчанні.

Рекомендовані Міністерством освіти і науки України підручники з хімії [2, 4, 6] містять різнопланові завдання для групової роботи. Аналіз їхнього змісту показав, що більшість з них призначена для виконання під час заняття на етапі систематизації та узагальнення вивченого матеріалу. Завдання для групової роботи, запропоновані під час вивчення нового матеріалу, враховують уже сформовані в учнівства навички та уміння. Авторські колективи підручників [4, 6] пропонують організовувати групову навчальну діяльність, зокрема, у теоретичних і практичних дослідженнях, тоді як у підручнику [2] завдання здебільшого спрямовані на роботу з різними джерелами інформації, усне обговорення і мозковий штурм.

Не дивлячись на різноманіття представлених авторами підручників завдань групової роботи, не кожне з них може бути використане в своєму початковому вигляді під час дистанційного навчання. Адаптація завдань до нових умов або ж самостійне їхнє створення потребує додаткових зусиль від учителів. Проте розуміння рівня навченості і пізнавальних можливостей учасників малих груп допоможе зорієнтуватися вчительству, якими завдання мають бути за змістом, обсягом і призначенням.

Визначення місця у навчальному процесі занять з груповою роботою має починатися на етапі створення календарно-тематичного планування і передбачати розроблення відповідних завдань, що є частиною навчально-методичного забезпечення. В «Енциклопедії освіти» навчально-методичне забезпечення трактується як «комплекс організаційно-нормативних, навчальних та методичних матеріалів, необхідних для планування та реалізації освітнього процесу» [1, с. 615].

Особливої уваги потребує виокремлення в поурочному плануванні часу для інтерактивних занять з груповою навчальною діяльністю учнів. Їх кількість в межах однієї теми визначає вчитель, зважаючи на загальну кількість занять у темі, інших запланованих видів занять, необхідністю проведення роботи саме у складі малих навчальних груп. Організація інтерактивних занять має бути систематичною упродовж усього навчального року.

Аналіз навчального матеріалу кожної теми дозволяє здійснити їх розподіл на логічно завершені блоки навчальної інформації, які стануть основою у подальшому створенні інтерактивних заняттях. Між собою такі частини навчального матеріалу мають бути узгоджені не лише як елементи однієї теми, але й логічно доповнювати одна одну.

За своєю структурою завдання інтерактивних занять, які дозволяють повною мірою реалізувати ефективне навчання у складі малих груп, можуть бути послідовно впорядкованими, коли кожна частина залежить від результатів попередніх етапів, або ж мати спільний контекст теми, хоча виконуються незалежно одне від одного.

На інтерактивних заняттях групова взаємодія може бути синхронною, розподіленою і диференційованою. Під синхронною взаємодією розуміємо виконання усіма групами одного

й того ж завдання. Розподілена взаємодія має на увазі поділ одного завдання на декілька різних частин, кожну з яких виконує одна група. Тобто результативність виконаного у груповій взаємодії завдання залежить від вкладу кожної групи. Диференційований підхід передбачає виконання різних завдань кожною групою окремо, проте об'єднаних між собою спільною темою і дидактичною метою групового навчання. Вважаємо, що в умовах дистанційного формату саме ця форма не може домінувати, оскільки презентація групами результатів на занятті потребуватиме значної кількості навчального часу, тоді як його доцільніше використати для виконання додаткових завдань.

Отже, підготовка методично-навчального забезпечення групової роботи в умовах дистанційного навчання потребує від учителів перегляду звичних для очного навчання підходів. Починаючи з етапу створення календарно-тематичного планування і закінчуючи організацією групового навчання з урахуванням індивідуальних особливостей членів кожної малої групи, створюються умови для ефективної імплементації групової роботи в освітній процес дистанційного формату.

1. Головко М. В., Гораш К. В. Навчально-методичне забезпечення. *Енциклопедія освіти*. К.: Юрінком Прес, 2021. С.615.

2. Григорович О. В., Недоруб О. Ю. Хімія: підручник для 8 кл. закладів загальної середньої освіти. Х.: Вид-во «Ранок», 2025. 320 с.

3. Державний стандарт базової середньої освіти: Постанова КМУ від 30.09.2020 року. № 898. URL: https://www.kmu.gov.ua/npas/pro-deyaki-pitannya-derzhavnih-standartiv-povnoyi-zagalnoyi-serednoyi-osviti-i300920-898 (дата звернення: 07.11.2025).

4. Мідак Л. Я., Кузишин О. В., Пахомов Ю. Д., Буждиган Х. В. Хімія: підручник для 8 кл. закладів загальної середньої освіти. Т.: Астон, 2025. 272 с.

5. Про схвалення Концепції реалізації державної політики у сфері реформування загальної середньої освіти "Нова українська школа" на період до 2029 року: Розпорядження КМУ від 14.12.2016 р. № 988-р. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/988-2016-%D1%80#Text (дата звернення: 07.11.2025).

6. Ярошенко О. Г., Коршевнюк Т. В. Хімія: підручник для 8 кл. закладів загальної середньої освіти. К.: УОВЦ «Оріон», 2025. 224 с.

ДИСТАНЦІЙНИЙ КУРС З ФІЗИЧНОЇ І КОЛОЇДНОЇ ХІМІЇ ЯК СКЛАДОВА ПРОФЕСІЙНОЇ ПІДГОТОВКИ МАЙБУТНІХ АГРОНОМІВ

Хижан Олена Ісаївна,
кандидат хімічних наук, доцент, olenakhyzhan@nubip.edu.ua
Національний університет біоресурсів і природокористування України, Україна

Хижан Анастасія Олександрівна,
здобувач вищої освіти V курсу, akhyzhan@gmail.com
Національний університет біоресурсів і природокористування України, Україна

Ковшун Лідія Олександрівна,
доктор технічних наук, професор, kovshunlidiia@nubip.edu.ua
Національний університет біоресурсів і природокористування України, Україна

У Національному університеті біоресурсів і природокористування України функціонує система дистанційного навчання, розроблена на основі модулів платформи Moodle [1, 2]. Вона сприяє ефективній комунікації між викладачами та студентами й підтримує як очну, так і заочну форми здобуття освіти. Завдяки цій системі студенти можуть дистанційно працювати з навчальними матеріалами (текстами, відео, презентаціями, анімаціями, електронними посібниками), виконувати завдання, проходити тестування та підтримувати зв'язок із викладачами. Викладачі мають можливість створювати онлайн-курси, контролювати виконання завдань, перевіряти роботи, вести електронні журнали й налаштовувати різноманітні ресурси навчального середовища [2, 3].

Метою цієї роботи є розробка дистанційного курсу з дисципліни «Хімія: фізична і колоїдна» для студентів Ступеня освіти Бакалавр, спеціальності H1 Агрономія (Захист і карантин рослин) на базі платформи Moodle, з урахуванням професійної підготовки цієї категорії здобувачів освіти.

Курс орієнтований на організацію самостійної роботи студентів, зокрема виконання контрольних завдань, і забезпечує доступ до всіх необхідних навчальних ресурсів. Він є доповненням до аудиторних занять, що включають лекції, лабораторні роботи та модульний контроль.

Структура дистанційного курсу охоплює кілька ключових компонентів:

1. Візитка курсу – подає основну інформацію про назву електронного курсу, його авторів, кафедру, спеціальність, курс і семестр навчання, кількість кредитів ECTS, а також силабус із визначенням мети, завдань і структури дисципліни.
2. Загальна інформація містить методичні рекомендації, умови вивчення курсу, глосарій термінів, пов'язаних гіперпосиланнями з матеріалами курсу, журнал відвідування, розділ «Новини курсу» для актуальних оновлень і форум «Питання-відповіді» для спілкування.
3. Змістові модулі охоплюють основні теми курсу, включають теоретичний матеріал, лабораторні завдання, тести для самоконтролю та контрольні роботи.
4. Контролюючий блок передбачає виконання тестів, контрольних завдань і підсумкове оцінювання знань студентів.

У межах дистанційного курсу розроблено три основні змістові модулі:

«Основи хімічної термодинаміки та кінетики». У модулі розглядаються базові принципи та закони термодинаміки, а також фундаментальні положення хімічної кінетики, зокрема фактори, що впливають на швидкість і механізм перебігу хімічних реакцій.

«Розчини. Електродні процеси». Модуль присвячено вивченню властивостей розчинів, методів їх приготування та особливостей поведінки речовин у них. Також аналізуються електрохімічні процеси — електродні потенціали, гальванічні елементи, електроліз і практичні аспекти їх застосування.

«Поверхневі явища. Дисперсні системи». У модулі розглядаються закономірності

поверхневих явищ і їхній вплив на властивості систем, а також теоретичні та практичні аспекти дослідження дисперсних систем — суспензій, емульсій, аерозолів, їх стабільності та методів отримання (рис.1).

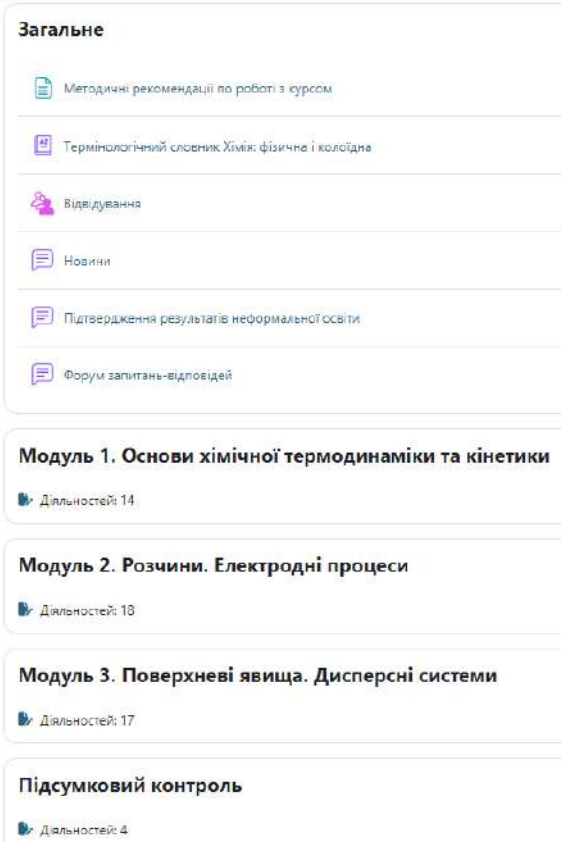


Рис. 1. Структура курсу дистанційного навчання

Кожен модуль містить лекційний матеріал, представлений у форматі ресурсу «Книга», що забезпечує логічну послідовність викладу. До курсу також включено лабораторні роботи, доповнені авторськими відеоматеріалами.

Після опрацювання теоретичних тем студенти мають можливість пройти тестування для самоперевірки та контролю знань. Інструменти платформи Moodle дозволяють створювати різноманітні типи тестових завдань — від запитань із вибором відповіді до числових або коротких відповідей. Такий формат навчання зручний як для студентів, так і для викладачів, оскільки автоматизована перевірка результатів заощаджує час і сприяє більш ефективному аналізу успішності.

Таким чином, дистанційний курс із фізичної та колоїдної хімії, реалізований у середовищі Moodle, є сучасним і зручним засобом організації навчального процесу. Його ключовими перевагами є стимулювання самостійної роботи студентів, розвиток навичок самоорганізації та можливість масштабування для більшої кількості учасників навчання.

1. Mercier V. B., Scholten U., Baltensperger R., Gremaud L., Dabros M. Distance Teaching in Chemistry: Opportunities and Limitations. *Chimia* 75, 2021, № 4, с. 258-264.

2. Kovalenko O. Distance learning technologies in a higher educational institution: experience of using Moodle. *Scientific Bulletin of Kharkiv National University of Economics*, 2023, № 4, с. 45-52.

3. Kosinska A., et al. Using Moodle Metrics to Analyze Student Navigation of Online Assessments. *Journal of Chemical Education*, 2025, Vol. 102, № 3, с. 192-200.

ІМЕННИЙ ПОКАЖЧИК

К

Kokoshko F. I. 229
Kliuiev H. A. 229

А

Авдєєв С. В. 249, 324
Авдєєва О. Ю. 112, 241, 245, 251, 281, 288, 290, 302, 311, 315, 324, 326, 328, 330, 341, 346, 353, 356, 358, 365, 369, 371
Александров Д. Ю. 145
Анічкіна О. В. 77, 88, 98, 154, 187, 316, 328, 334, 343, 348, 350, 363, 367, 373, 375
Антрапцева Н. М. 27, 40, 68, 104, 264, 313
Арабаджи М. В. 93
Артемчук Т. С. 147

Б

Балан В. В. 76
Басюк В. О. 77, 311
Барановська Т. Г. 16
Бідовська К. В. 73
Біла Г. М. 104, 201, 264, 313
Білоус І. В. 149
Бобрівник О. О. 231
Бодашко С. А. 63
Боднар Ю. П. 78
Большаніна С. Б. 94, 134, 306
Борта Г. Е. 18
Блашко Н. М. 151

В

Василевська В. В. 156
Ванельчук І. М. 154, 315
Варава І. Д. 112
Вашкеба Ю. І. 158
Ващук Д. С. 114
Віленський В. О. 55, 80, 120, 170, 187, 204, 212, 219
Вініченко А. І. 233
Вигівська К. Р. 19, 316

Г

Габрей І. І. 102
Гайдарли К. Д. 83
Ганський В. В. 88
Гіжицький І. В. 27
Гилюк А. В. 31
Гелеверя А. О. 237
Гере П. Р. 25
Голець С. Я. 78
Голуб О. А. 46, 263
Гончаренко Л. І. 85
Горбик А. С. 239
Горобей К. М. 116, 118, 241, 243
Гусаченко Д. А. 86, 245
Гунька В. М. 191, 208

Гринишин О. Б. 145, 177, 183, 226
Гринишин К. О. 195
Груша М. Ю. 29

Д

Данилюк С. М. 80
Демчук А. В. 82
Денисюк Р. О. 16, 21, 29, 31, 33, 38, 44, 47, 49, 51, 53, 55, 83, 86, 147, 156, 158, 163, 170, 179, 181, 187, 193, 204, 210, 214, 277, 296
Дергачов В. Г. 21
Деркач А. 160, 319
Диченко Т. В. 85
Добринський О. В. 163
Довбня А. І. 120
Драглюк В. М. 247
Дризик В. Ю. 249
Дубенська Л. О. 78, 102, 106
Дудник І. Ю. 23
Дмухайло А. В. 102, 106
Дяченко О. Д. 124

Є

Євдоченко О. С. 16, 31, 47, 83, 89, 118, 156, 158, 181, 239, 258, 260, 269, 279, 284, 286, 298, 308
Євсєєва Л. В. 237
Єфімчук Д. М. 313

Ж

Жданюк І. М. 324
Жуковецька О. М. 76

З

Заблоцький О. Я. 33
Зимнік Д. В. 251, 253
Зозуля І. І. 89, 326
Знак Ю. З. 226

І

Іванюк Д. Р. 91, 328
Іванюк М. М. 165
Іванків О. С. 122
Ільченко Т. А. 35

К

Казимирів П. І. 167
Камінський О. М. 16, 21, 29, 31, 33, 47, 49, 53, 80, 83, 86, 147, 154, 156, 158, 163, 165, 170, 179, 181, 187, 193, 204, 206, 210, 212, 214, 219, 260, 277, 286
Калугін О. М. 184, 237, 271
Карпішенко Д. В. 255
Качан В. Ю. 170, 330
Кіосе Т. О. 46
Кіртока І. А. 93
Кириченко О. В. 237
Кирпа Б. І. 332
Кислова О. В. 23
Кичкирук О. Ю. 31, 77, 83, 88, 91, 98, 100, 109, 286
Коваленко О. А. 172
Коваленко С. М. 237

Коваль Н. В. 237
Ковальчук Н. Д. 334
Ковшун Л. О. 337, 379
Козакевич Р. Б. 46
Колос Є. М. 258
Комарницька В. Ю. 106
Константинова А. С. 184
Корній Ю. Є. 139
Котляр Ю. М. 38
Копач А. М. 177
Кочура Є. К. 94
Кротенко В. В. 231
Кузнецова Т. Ю. 172
Кузнєцов С. І. 247
Куліш А. М. 179
Кусяк Н. В. 19, 43, 73, 189, 273, 294
Куленко О. А. 172
Куліков Д. О. 208
Куля Д. Ю. 128
Кут Д. Ж. 128
Кут М. М. 128
Курило З. О. 130
Кучерук С. В. 33, 80, 86, 163, 165, 210, 214, 219, 277, 286
Кучма Б. О. 40
Климук М. П. 124
Криворучко М. В. 126
Криворучко М. В. 339
Крупська А. 94

Л

Лакізюк Д. С. 43
Лозова М. В. 44
Літковець С. В. 60
Левкович Я. Ю. 93
Левковська А. О. 260
Листван В. В. 116, 118, 143

М

Макров А. В. 78
Маланич Г. П. 44
Малюк М. В. 46
Марушко Л. П. 122
Марчук О. В. 35, 151
Маслов Д. В. 263
Мельник Д. О. 343
Мельник О. Р. 47
Метничук Х. Д. 96
Молнар К. А. 360
Мосійчук В. В. 49
Микитенко А. М. 51
Микитин І. М. 59
Миронюк М. О. 264
Мудрак О. А. 132
Муквич В. Ю. 267

Н

Наумець Н. В. 53
Невмержицька Г. В. 269, 346
Нестерова К. А. 337
Нестерчук О. Ю. 348
Ніколаєва А. В. 350
Ніколенко А. О. 181
Німець П. О. 183
Новосельцев І. М. 184
Нюкало В. О. 55

О

Олексюк О. Ю. 187, 353
Омельчук А. О. 98, 356
Омельчук Ю. О. 189
Онисько М. Ю. 128
Орос Р. М. 57

П

Павліченко О. С. 358
Павлюк В. А. 47
Паво Т. В. 360
Палій Ю. О. 59
Панасюк Д. Ю. 165, 170, 187, 212
Панишева О. В. 130
Петренко І. В. 109
Побігай Г. А. 255
Погодін А. І. 25, 71
Поліщук І. І. 273, 363
Поліщук К. Ю. 181
Поліщук О. А. 189
Поляк О. Є. 191
Пономарьова Л. М. 137, 233
Порхун К. В. 277, 365
Піскач Л. В. 63
Піскунов І. І. 271
Пух М. О. 60
Приймак Т. О. 367
Присяжнюк А. О. 279
Прокіпчук І. В. 59
Протасевич Я. М. 193, 281
Пшеничний Р. М. 216, 267

Р

Радченко А. Е. 134
Радченко О. І. 137
Радух А. Я. 195
Раєць В. В. 369
Ракитська Т. Л. 46
Рачинська В. С. 100
Рацук К. С. 283
Рацук М. Є. 283
Романишина Л. М. 316, 363, 367, 375
Романчук О. О. 198
Романчук М. В. 284

Ростовецька Д. П. 201
Римар О. О. 371, 373
Рингач Я. С. 102
Руденко А. Б. 286
Рудиш М. Я. 151
Румак О. О. 204

С

Сабов М. Ю. 57, 71
Салагуб Т. В. 106
Салєба Л. В. 247
Салієва Л. М. 114, 122, 132
Самійлик М. В. 375
Свінціцька А. С. 288
Севрук Є. С. 206, 290, 292
Семенюк В. О. 63
Семерик О. С. 377
Сергієнко Ю. М. 139
Сергійчук О. О. 296
Сідун Г. О. 208
Сікач А. В. 255
Синицький В. І. 51
Свиридюк К. П. 179, 206, 243, 253, 292, 296, 304
Сливка Н. Ю. 114, 122, 124, 132, 139
Смітюх О. В. 35, 60
Слюсарчук В. А. 38
Снігур Д. В. 76, 82, 93
Степанюк А. Р. 298
Сухачова М. О. 300

Т

Таран К. Д. 141
Топільницький П. І. 198, 221, 223
Топузов С. А. 210
Тімощук О. О. 66
Тітов Ю. О. 16, 47, 53, 86, 147, 154, 156, 158, 165, 181, 204, 212, 219
Ткаченко А. В. 68
Ткач А. О. 104
Трухим М. В. 102, 106

Ф

Федолізде Д. О. 308
Фершал М. В. 96
Філеп М. Й. 18, 25, 71, 332
Форкош В. В. 71

Х

Хаснаш Б. О. 158
Хімчик О. С. 73, 212
Хижан А. О. 337, 379
Хижан О. І. 337, 379
Ходаківський О. В. 348
Ходюк О. В. 53, 80, 86, 147, 163, 165, 212

Ц

Цюпа М. Р. 214

Ч

Чайка М. В. 16, 21, 29, 31, 33, 38, 47, 49, 51, 53, 66, 80, 83, 156, 158, 163, 170, 179, 181, 193, 204, 206, 210, 214, 219, 286, 296
Чайка Ю. Ю. 66
Червінський Т. І. 149, 167, 195
Чонтош Т. О. 96
Чудеса К. В. 216
Чумак В. В. 29, 44, 49, 66, 206, 296

Ш

Шаран Т. О. 109, 143, 302, 304
Шевченко С. В. 126, 141, 300
Шевчук Д. М. 219
Шищак М. М. 221, 223
Шокаленко О. В. 306

Ю

Юзифишин В. М. 226

Я

Янчук О. М. 60