

ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД
«УЖГОРОДСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ»
НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ ХІМІЇ ТА ЕКОЛОГІЇ

Кафедра аналітичної хімії



“ЗАТВЕРДЖУЮ”

Директор ІНЦХЕ ДВНЗ «УжНУ»

Василь ЛЕНДСЛ

28 червня 2024 року

РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ
АНАЛІТИЧНІ СЕНСОРНІ СИСТЕМИ

Рівень вищої освіти	другий (магістерський) рівень
Галузь знань	01 Освіта/Педагогіка
Спеціальність	014 Середня освіта
Предметна спеціальність	014.06 Середня освіта (Хімія)
Освітньо-наукова програма	Хімія
Статус дисципліни	обов'язкова
Мова навчання	Українська

Робоча програма навчальної дисципліни «**Аналітичні сенсорні системи**» для здобувачів вищої освіти галузі знань **01 Освіта/Педагогіка** спеціальності **014 Середня освіта**, предметної спеціальності **014.06 Середня освіта (Хімія)** освітньо-наукової програми **Хімія**.

Розробник: Фершал М.В., доцент, кандидат хімічних наук.

Робочу програму розглянуто та затверджено на засіданні кафедри *аналітичної хімії* протокол № 9 від «8» квітня 2024р.

Завідувач кафедри  Ярослав СТУДЕНЯК

Схвалено науково-методичною комісією навчально-наукового інституту хімії та екології протокол № 11 від 28 червня 2024 р.

Голова науково-методичної комісії  Михайло СЛИВКА

© Фершал М.В. 2024 р.

© ДВНЗ «Ужгородський національний університет», 2024 р.

1. ОПИС НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Найменування Показників	Розподіл годин за навчальним планом
	Денна форма навчання
Кількість кредитів ЄКТС –4	Рік підготовки: 1
Загальна кількість годин – 120	
Кількість модулів – 2	Семестр: 1
Тижневих годин: 4	Лекції:
аудиторних – 46	18
самостійної роботи студента – 74	Практичні (семінарські):
	0
Вид підсумкового контролю: іспит	Лабораторні:
	28
Форма підсумкового контролю: усний	Самостійна робота:
	74

2. МЕТА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Метою навчальної дисципліни «**Аналітичні сенсорні системи**» є вивчення теорії найбільш поширених хімічних сенсорів та сенсорних систем, методів їх виготовлення, отримання та обробки аналітичної інформації та використання на практиці.

Дослідження та розвиток хімічних сенсорів є динамічним напрямком сучасної науки. Сенсори, особливо хімічні сенсори, є предметом досліджень практично всіх галузей хімічної науки у симбіозі із іншими дисциплінами, такими як фізика, математика, біохімія та біоінженерія, нанотехнології та біологія фармація та медицина. Курс «Аналітичні сенсорні системи» розроблено з метою засвоєння здобувачами освіти базових навичок та розуміння принципів роботи сенсорів та їх використання у аналітичних методах та техніках виконання аналізу. В лекціях та лабораторному практикумі розглядаються питання конструювання сенсорних систем, приводяться основні уявлення про електрохімічні, оптичні,

гравіметричні та біосенсори їх використання для аналізу складних об'єктів, у моніторингу довкілля та медицині. Таким чином завданням засвоєння дисципліни є ознайомлення здобувачів освіти з новим напрямком аналітичної хімії - хімічною сенсорикою. Відомо, що основною ідеєю STEM (Science, Technology, Engineering, Mathematics) технологій у освіті полягає в інтеграції науки, технологій, інженерії та математики для формування практичних знань, навичок вирішення проблем та критичного мислення. Цей підхід орієнтований на підготовку здобувачів освіти до сучасного світу, де міждисциплінарні знання та технологічна грамотність стають ключовими факторами успіху. Курс «Аналітичні сенсорні системи» та лабораторний практикум передбачений при його вивченні містить елементи інтеграції різних галузей науки у одне русло для вирішення конкретного завдання-виготовлення сенсора, дослідження його характеристик та розуміння принципів функціонування, що буде корисним для здобувачів освіти у їхній професійній педагогічній діяльності.

Відповідно до освітньо-наукової програми «Хімія» за спеціальності 014 Середня освіта, предметної спеціальності 014.06 Середня освіта (Хімія), вивчення дисципліни сприяє формуванню у здобувачів вищої освіти таких компетентностей:

Компетентність	Спеціальність 014 Середня освіта, предметна спеціальність 014.06 Середня освіта (Хімія)
ІК1	Здатність розв'язувати прикладні задачі та практичні проблеми дослідницького та/або інноваційного характеру під час професійної діяльності у галузі освіти, що передбачає застосування теорій та методів хімії.
ЗК 1	Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях.
ЗК 4	Здатність до колективних дій та організації взаємодії в колективі.
ЗК 5	Здатність генерувати нові ідеї (креативність) та приймати обґрунтовані рішення; планувати і вирішувати завдання власного професійного і особистісного розвитку
ЗК8	Здатність застосовувати принципи і методи наукового пізнання у науково-педагогічній діяльності.
ФК 1	Здатність розуміти предметну область і специфіку професійної діяльності.
ФК 4	Здатність використовувати ефективні шляхи мотивації здобувачів освіти до саморозвитку, спрямовувати їх на прогрес і формувати у них обґрунтовану позитивну самооцінку.

ФК 12	Здатність обирати оптимальні методи та методики наукового дослідження; уміння працювати з хімічними реактивами і матеріалами.
-------	---

3. ПЕРЕДУМОВИ ДЛЯ ВИВЧЕННЯ НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Передумови вивчення навчальної дисципліни «Аналітичні сенсорні системи» відсутні, так як це дисципліна 1 семестру.

4. ОЧІКУВАНІ РЕЗУЛЬТАТИ НАВЧАННЯ

Відповідно до освітньо-наукової програм «Хімія» за спеціальністю 014 Середня освіта, предметною спеціальністю 014.06 Середня освіта (Хімія), вивчення навчальної дисципліни повинно забезпечити досягнення здобувачами вищої освіти таких програмних результатів навчання (ПРН):

Програмні результати навчання	Шифр ПРН
Демонструє вміння застосовувати знання з психології, педагогіки, хімії у практичних ситуаціях здійснення освітньої діяльності, поглиблює знання з предметної області.	1
Визначає, аналізує та характеризує педагогічні інновації, демонструє вміння їх практичного застосування у професійній діяльності.	6
Демонструє здатність діяти автономно і в команді.	11
Вміє використовувати в освітньому процесі сучасні засоби навчання хімії, відкриті інформаційні ресурси, цифрові технології та демонструє уміння створення власних інформаційних ресурсів з хімії дидактичного призначення.	14
Вміє організувати та володіє методологією наукового дослідження.	19

Очікувані результати навчання, які повинні бути досягнуті здобувачами освіти після опанування навчальної дисципліни «Аналітичні сенсорні системи»:

Очікувані результати навчання з дисципліни	Шифр ПРН
Розуміти принципи роботи та будову хімічних сенсорів, орієнтуватись у областях їх практичного застосування, знати їх переваги та обмеження з метою інтеграційного використання у педагогічній діяльності, самоосвіті, вирішуванні прикладних задач	1

хімії та екології.	
Використовує набуті навички та знання для інтеграції різних галузевих дисциплін при навчанні хімії за принципами STEM технологій у освіті	6
Вміє організовувати роботу колективу для вирішення ситуативних завдань та проблем, проводити мозкові штурми, спільно шукати шляхи вирішення хімічних задач та проблем з предметної діяльності	11
Вміє застосовувати операційне середовище аналітичних приладів та спеціалізоване програмне забезпечення для отримання, обробки та аналізу експериментальних даних, побудови експериментальних залежностей, графіків, діаграм для пояснення закономірностей та кореляцій при навчанні хімії та провадженні професійної діяльності.	14
Вміти грамотно планувати хімічний експеримент, конструювати дослідні та використовувати комерційно доступні зразки сенсорів , інтегрувати їх у аналітичне обладнання із метою їх дослідження та використання для вирішення якісних та кількісних завдань у складних об'єктах аналізу.	19

5. ЗАСОБИ ДІАГНОСТИКИ ТА КРИТЕРІЇ ОЦІНЮВАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ НАВЧАННЯ

Засоби оцінювання та методи демонстрування результатів навчання

Засобами оцінювання та методами демонстрування результатів навчання з навчальної дисципліни є якість виконання та оформлення лабораторних робіт з курсу та написання модульних контрольних робіт, іспит.

Форми контролю та критерії оцінювання результатів навчання

Форми поточного контролю: лабораторні роботи (якість виконання, відповіді на контрольні питання).

Форма модульного контролю: модульні контрольні роботи №1 та №2 у тестовій формі системи Moodle.

Форма підсумкового семестрового контролю: іспит

Розподіл балів, які отримують здобувачі вищої освіти за змістовий модуль 1

Поточне оцінювання та самостійна робота		Модульна контрольна робота	Сума
T1	T2	50	100
20	30		

Розподіл балів, які отримують здобувачі вищої освіти за змістовий модуль 2

Поточне оцінювання та самостійна робота				Модульна контрольна робота	Сума
T3	T4	T5	T6	50	100
20	10	10	10		

Оцінювання окремих видів навчальної роботи з дисципліни

Вид діяльності здобувача вищої освіти	Змістовий модуль 1		Змістовий модуль 2	
	Кількість	Максимальна кількість балів (сумарна)	Кількість	Максимальна кількість балів (сумарна)
Лабораторні заняття (допуск, виконання та захист)	1	20	2	20
Комп'ютерне тестування при тематичному оцінюванні	1	20	2	20
Презентація	1	10	1	10
Модульна контрольна робота	1	50	1	50
Разом	4	100	6	100

Критерії оцінювання підсумкового семестрового контролю

Завданням підсумкового контролю є перевірка розуміння здобувачем освіти програмового матеріалу в цілому, логіки та взаємозв'язків між окремими розділами, здатності творчого використання накопичених знань, уміння сформулювати своє ставлення до певної проблеми навчальної дисципліни.

Кількість балів, яку набрав студент з курсу «**Аналітичні сенсорні системи**», визначається сумою балів з відповідних модулів дисципліни. Загальна кількість балів складає 100%. Переведення кількості набраних балів в оцінку здійснюється згідно схеми:

Відсоток від загальної суми балів	Диференційована шкала	Шкала ECTS
90-100	відмінно	A
82-89	добре	B
74-81		C
64-73	задовільно	D
60-63		E
35-59	незадовільно	FX

Іспит виставляється автоматично, якщо здобувачем освіти за результатами підсумкового балу було набрано мінімум 60 % від можливих балів і здобувач освіти погоджується із оцінкою. Відповідно, ті здобувачі, хто не набрав 60% балів, але отримав більше 34 % зобов'язані здавати іспит. Студенти які не виконали навчальну програму та отримали 34 % і менше – до іспиту не допускаються. Студенти, які не здали і не відпрацювали заняття експериментального циклу (лабораторні роботи), до іспиту не допускаються, не залежно від кількості набраних балів за теоретичний цикл (колоквіуми, комп'ютерне тестування, презентації, модульні контрольні роботи). Результати навчання, отримані студентами в результаті неформального навчання (сертифікатні програми, тренінги (стажування), короткотермінові курси, літні школи під керівництвом тренерів, репетиторів та інших фахівців тощо) та інформального навчання (самоорганізоване здобуття певних компетентностей, зокрема під час повсякденної діяльності, пов'язаної з професійною (самостійне опрацювання тематичних наукових праць), громадською або іншою діяльністю), можуть бути зараховані рейтинговими балами як окремий зріз знань (тема).

Критерії оцінки поточної навчальної діяльності:

- повна і правильна відповідь на теоретичні запитання та виконані практичні завдання (при наявності) – оцінка складає 90-100 % від максимально можливої кількості балів;

- достатня відповідь на теоретичні запитання з деякими неточностями та вірно виконане практичне завдання (при наявності) - оцінка 70-89 % від максимально можливої кількості балів;

- поверхова відповідь на теоретичні запитання та частково виконане практичне завдання без достатніх пояснень (при наявності) - оцінка 60-69 % від максимально можливої кількості балів.

- якщо здобувач освіти продемонстрував поверхові знання із поставленого питання, або ж не відповів на теоретичне запитання, не впорався з практичним завданням (за наявності) - виставляється оцінка яка становить до 59 % від максимально можливої кількості балів.

Критерії оцінки модульної контрольної роботи:

- Оцінку «відмінно» (90-100 % балів) одержує студент, який дав не менше 90 % правильних відповідей на стандартизовані тестові завдання.

- Оцінку «добре» (74-89 % балів) одержує студент, який дав не менше 74 % правильних відповідей на стандартизовані тестові завдання.

- Оцінку «задовільно» (60-73 % бали) одержує студент, який дав не менше 60 % правильних відповідей на стандартизовані тестові завдання,.

- Оцінку «незадовільно» (0-59 % балів) одержує студент, який дав менше 60 % правильних відповідей на стандартизовані тестові завдання.

Критерії оцінки підсумкового модуля (іспит):

- оцінку «відмінно» (90-100 балів, А) заслуговує здобувач освіти, який: глибоко володіє навчально-програмовим матеріалом; вміє самостійно виконувати завдання, використовує набуті знання і вміння у нестандартних ситуаціях; засвоїв основну і ознайомлений з додатковою літературою, яка рекомендована програмою; засвоїв взаємозв'язок основних понять дисципліни та усвідомлює їх значення для професії, яку набуває, виявив творчі здібності і використовує їх при вивченні навчально-програмового матеріалу, проявив нахил до наукової роботи.
- оцінку «добре» (82-89 балів, В) – заслуговує здобувач освіти, який: володіє навчально-програмовим матеріалом, в тому числі застосовує його на практиці, має системні знання в достатньому обсязі відповідно до навчально-програмового матеріалу, аргументовано використовує їх у різних ситуаціях; має здатність до самостійного пошуку інформації, а також до аналізу, постановки і розв'язування проблем професійного спрямування; під час відповіді допустив деякі неточності, які самостійно виправляє, добирає переконливі аргументи на підтвердження вивченого матеріалу;
- оцінку «добре» (74-81 бал, С) заслуговує здобувач освіти, який: при підсумковому контролі робить певну кількість незначних помилок; вміє порівнювати, узагальнювати, систематизувати інформацію під керівництвом викладача, в цілому самостійно застосовувати на практиці, контролювати власну діяльність; опанував навчально-програмовий матеріал, успішно виконав завдання, передбачені програмою, засвоїв основну літературу, яка рекомендована програмою;
- оцінку «задовільно» (64-73 бали, D) – заслуговує здобувач освіти, який: знає основний навчально-програмовий матеріал в обсязі, необхідному для подальшого навчання і використання його у майбутній професії; виконує завдання на достатньому рівні, з значною кількістю помилок; ознайомлений з основною літературою, яка рекомендована програмою; допускає на заняттях чи екзамені помилки при виконанні завдань, але під керівництвом викладача знаходить шляхи їх усунення.
- оцінку «задовільно» (60-63 балів, E) – заслуговує здобувач освіти, який: володіє основним навчально-програмовим матеріалом в обсязі, необхідному для подальшого навчання і використання його у майбутній професії, а виконання завдань задовольняє мінімальні критерії. Знання мають репродуктивний характер.

- оцінка «незадовільно» (35-59 балів, FX) – виставляється здобувачу освіти, який: виявив суттєві прогалини в знаннях основного програмового матеріалу, допустив принципові помилки у виконанні передбачених програмою завдань.
- оцінку «незадовільно» (0-34 балів, F) – виставляється студенту, який володіє навчальним матеріалом тільки на рівні елементарного розпізнавання і відтворення окремих фактів або не володіє зовсім; допускає грубі помилки при виконанні завдань, передбачених програмою; не може продовжувати навчання і не готовий до професійної діяльності після закінчення університету без повторного вивчення даної дисципліни.

6. ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

6.1. Зміст навчальної дисципліни

Змістовий модуль № 1 Термінологія та метрологія сенсорних систем

Тема №1.

Предмет курсу. Введення в принципи хімічної сенсорики, хімічна інформація, перетворення сигналу, аналітичний сигнал та об'єм інформації в ньому, фізичні, фізико-хімічні та біологічні перетворювачі сигналу, типи сенсорів, класифікація. Біохімічні сенсори на основі ензимів, олігонуклеотидів та нуклеїнових кислот, ліпідів. Імунорецептори. Каталітичні біосенсори;

Тема № 2

Термінологія та робочий словник, основні дефініції: калібрування, градування, чутливість, межа виявлення, межа визначення, дрейф сигналу, час відгуку, селективність. Основні вимоги до сенсорів як до аналітичних приладів. Тенденції розвитку сенсорних інноваційних технологій; зв'язок з науковою діяльністю кафедри аналітичної хімії УжНУ. Типи селективності. Молекулярний друк у полімері. Методи виготовлення сенсорів. Моношари, метод молекулярного друкування, фотолітографія, виготовлення ПВХ сенсорів.

Змістовий модуль № 2 Електрохімічні сенсори. Оптичні та п'єзо сенсори.

Тема № 3

Потенціометричні сенсори. Іонометрія. Механізми виникнення аналітичного сигналу в потенціометрії. Рівняння Нернста, модифіковане рівняння Нернста, теорія скляного електроду, твердо тільні та рідинні сенсори, пласифіковані мембранні електроди. Іонофори. Іон селективні польові транзистори. Застосування для контролю якості лікарських засобів; якості питної води.

Тема №4.

Амперометричні сенсори та їх хімічна модифікація. Електрод Кларка. Киснеміри. Біосенсори. Кондуктометричні системи контролю.

Тема №5.

Оптичні сенсори. Закон Бугера – Ламберта – Бера , поглинання видимого та УФ випромінювання, оптичні волокна, внутрішні та зовнішні світловоди, оптроди, твердо фазна спектрофотометрія, тест смужки. Застосування для контролю якості лікарських засобів.

Тема № 6.

Гравіметричні сенсори, п'єзокварцові резонатори. Кантілівери. Напівпровідникові сенсори, сенсори резистивного типу. Мультисенсорні системи, «Електронний ніс», «Електронний язик».

6.2. Структура навчальної дисципліни

Назви змістових модулів і тем	Кількість годин					
	Усього	у тому числі				
		лекції	практичні (семінарські)	лабораторні	Індивідуаль-на робота	самостійна робота
Змістовий модуль № 1						
Тема №1. Предмет курсу. Введення в принципи хімічної сенсорики, хімічна інформація, перетворення сигналу, аналітичний сигнал та об'єм інформації в ньому. Фізичні, фізико-хімічні та біологічні перетворювачі сигналу, типи сенсорів, класифікація.	2	2				
Біохімічні сенсори, ензими, олігонуклеотиди та нуклеїнові кислоти, ліпіди. Імунорецептори. Каталітичні біосенсори;	7	2				5
Тема 2. Термінологія та робочий словник, основні дефініції: калібрування, градуювання, чутливість, межа виявлення, межа визначення, дрейф сигналу, час відгуку, селективність.	7	2				5
Основні вимоги до сенсорів як до аналітичних приладів. Тенденції розвитку сенсорних технологій. Методи виготовлення сенсорів. Моношари, метод молекулярного друкування, фотолітографія, виготовлення ПВХ сенсорів.	20	2		8		10
Модульна контрольна робота № 1	2	2				

Разом за модуль № 1	38	10		8		20
Змістовий модуль № 2						
Тема №3 Загальна характеристика сучасних електроаналітичних методів аналізу. Потенціометричні сенсори. Іонометрія. Механізми виникнення аналітичного сигналу в потенціометрії. Рівняння Нернста, модифіковане рівняння Нернста, теорія скляного електроду, твердо тільні та рідинні сенсори, пласифіковані мембранні електроди. Іонофори. Іон селективні польові транзистори.	16	2		4		10
Тема №4 Амперометричні сенсори та їх хімічна модифікація. Електрод Кларка. Киснеміри. Біосенсори. Кондуктометричні системи контролю.	12	2				10
Тема №5. Оптичні сенсори. Закон Бугера – Ламберта – Бера , поглинання видимого та УФ випромінювання, оптичні волокна, внутрішні та зовнішні світловоди, оптроди, твердо фазна спектрофотометрія, тест полоски.	28	2		12		14
Тема №6 Гравіметричні сенсори, п'єзокварцові резонатори. Кантилівери. Напівпровідникові сенсори, сенсори резистивного типу. Мультисенсорні системи, «Електронний ніс», «Електронний язик».	24			4		20
Модульна контрольна робота № 2	2	2				
Разом за змістовий модуль № 2	82	8		20		54
Разом за підсумковий модуль	120	18		28		74

6.3. Теми лабораторних занять

№ з/п	Назва теми	Кількість Годин
-------	------------	--------------------

1	Виготовлення ПВХ пластифікованого тетрафторборат селективного сенсора та його використання для аналізу мінеральних вод.	8
2	Робота з скляним електродом. Потенціометричне визначення рН сольової витяжки ґрунту.	4
3	Визначення вмісту води в органічному розчиннику з використанням молекулярно розмірного сенсора мікрооточення.	6
4	Виготовлення NH_3 – чутливого оптичного сенсора на основі мероціанінового барвника в поліметилметакрилатній (ПММК) матриці.	6
5	Дослідження відгуку напівпровідникового газового кондуктометричного сенсора парів етанолу.	4
Разом		28

6.4. Самостійна робота

№	Назва теми	Кількість годин
1	Фізичні, фізико-хімічні та біологічні перетворювачі сигналу, типи сенсорів, класифікація.	5
2	Імунорецептори у сенсорах. Каталітичні біосенсори;	5
3	Методи виготовлення сенсорів. Моношари, метод молекулярного друкування, фотолітографія, виготовлення ПВХ сенсорів. Підготовка до лабораторної роботи №1	10
4	Іон селективні польові транзистори. Підготовка до лабораторної роботи №2	10
5	Амперометричні сенсори третьої генерації. Нанотехнології у амперометричних сенсорах	10
6	Оптичні волокна, внутрішні та зовнішні світловоди, оптроди. Твердо фазна спектрофотометрія, тест полоски. Підготовка до лабораторних робіт №3 та № 4	14
7	Гравіметричні сенсори, п'єзокварцові резонатори. Кантилівери. Напівпровідникові сенсори, сенсори резистивного типу. Мультисенсорні системи, Підготовка до лабораторної роботи № 5	20
	Разом	74

7. ІНСТРУМЕНТИ, ОБЛАДНАННЯ ТА ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ, ВИКОРИСТАННЯ ЯКИХ ПЕРЕДБАЧАЄ НАВЧАЛЬНА ДИСЦИПЛІНА

Технічні засоби

Реактиви та матеріали згідно плану лабораторних робіт з курсу.

Обладнання: спектрофотометр, термостат, потенціометр, іон селективні електроди, рН – метри, мультимедійний проектор, АЦП, персональний комп'ютер. Програмне забезпечення пакету Microsoft Office для обробки та роботою з цифровими даними, система електронного навчання Moodle.

8. РЕКОМЕНДОВАНІ ДЖЕРЕЛА ІНФОРМАЦІЇ

Основна література

1. Фершал М.В. Аналітичні сенсорні системи: навчальний посібник / Укладач: М.В. Фершал. – Ужгород: Вид-во УжНУ «Говерла», 2022. – 220 с.
2. Фершал М.В., Студеняк Я.І., Методичні вказівки до лабораторних робіт та самостійної роботи студентів з навчальної дисципліни «Аналітичні сенсорні системи»/М.В. Фершал, Я.І. Студеняк – Ужгород: ДВНЗ «УжНУ», 2023. – 77 с.
3. Pawar, D. K. Chemical Sensors / D. K. Pawar. – CRC Press, 2023. – 233 p.
4. Karunakaran, C., Rajkumar, R., & Bhargava, K. Introduction to biosensors / C. Karunakaran, R. Rajkumar, K. Bhargava // In: Biosensors and Bioelectronics. – Elsevier, 2015. – P. 1–68.
5. Khanna, V. K. Nanosensors: Physical, Chemical, and Biological / V. K. Khanna. – CRC Press, 2021.
6. Wang, X. D., & Wolfbeis, O. S. Fiber-optic chemical sensors and biosensors (2015–2019) / X. D. Wang, O. S. Wolfbeis // Analytical Chemistry. – 2019. – Vol. 92, No. 1. – P. 397–430.
7. Malhotra, B. D., & Ali, M. A. Chapter 1 - Nanomaterials in Biosensors: Fundamentals and Applications / B. D. Malhotra, M. A. Ali // In: Nanomaterials for Biosensors / ed. by B. D. Malhotra, M. A. Ali. – William Andrew Publishing, 2018. – P. 1–74.

Допоміжна література

1. Janata, J. Principles of Chemical Sensors / J. Janata. – 2nd ed. – Netherlands: Springer Science & Business Media, 2012. – 329 p.
2. Banica, F. G. Chemical Sensors and Biosensors: Fundamentals and Applications / F. G. Banica. – John Wiley & Sons, 2012. – 576 p.
3. Белих І. А. Біологічні та хімічні сенсорні системи : навч. посібник / І. А. Белих, М. Ф. Клещев ; Нац. техн. ун-т "Харків. політехн. ін-т". – Харків : НТУ "ХПІ", 2011. – 144 с.
4. Nadporozhskaya, M., Kovsh, N., Paolesse, R., & Lvova, L. Recent advances in chemical sensors for soil analysis: A review / M. Nadporozhskaya, N. Kovsh, R. Paolesse, L. Lvova // Chemosensors. – 2022. – Vol. 10, No. 1. – P. 35.
5. Naresh, V., & Lee, N. A review on biosensors and recent development of nanostructured materials-enabled biosensors / V. Naresh, N. Lee // Sensors. – 2021. – Vol. 21, No. 4. – P. 1109.

6. Chen, X., Yao, C., & Li, Z. Microarray-based chemical sensors and biosensors: Fundamentals and food safety applications / X. Chen, C. Yao, Z. Li // *TrAC Trends in Analytical Chemistry*. – 2023. – Vol. 158. – Article 116785.
7. Baranwal, J., Barse, B., Gatto, G., Broncova, G., & Kumar, A. Electrochemical sensors and their applications: A review / J. Baranwal, B. Barse, G. Gatto, G. Broncova, A. Kumar // *Chemosensors*. – 2022. – Vol. 10, No. 9. – P. 363.
8. Sumitha, M. S., & Xavier, T. S. Recent advances in electrochemical biosensors – A brief review / M. S. Sumitha, T. S. Xavier // *Hybrid Advances*. – 2023. – Vol. 2. – Article 100023.
9. Hui, Y., Huang, Z., Alahi, M. E. E., Nag, A., Feng, S., & Mukhopadhyay, S. C. Recent advancements in electrochemical biosensors for monitoring the water quality / Y. Hui, Z. Huang, M. E. E. Alahi, A. Nag, S. Feng, S. C. Mukhopadhyay // *Biosensors*. – 2022. – Vol. 12, No. 7. – P. 551.
10. Uniyal, A., Srivastava, G., Pal, A., Taya, S., & Muduli, A. Recent advances in optical biosensors for sensing applications: A review / A. Uniyal, G. Srivastava, A. Pal, S. Taya, A. Muduli // *Plasmonics*. – 2023. – Vol. 18, No. 2. – P. 735–750.
11. Bui, T. H., Thangavel, B., Sharipov, M., Chen, K., & Shin, J. H. Smartphone-based portable bio-chemical sensors: Exploring recent advancements / T. H. Bui, B. Thangavel, M. Sharipov, K. Chen, J. H. Shin // *Chemosensors*. – 2023. – Vol. 11, No. 9. – P. 468.
12. Chandra Kishore, S., Samikannu, K., Atchudan, R., Perumal, S., Edison, T. N. J. I., Alagan, M., ... & Lee, Y. R. Smartphone-operated wireless chemical sensors: A review / S. Chandra Kishore, K. Samikannu, R. Atchudan, S. Perumal, T. N. J. I. Edison, M. Alagan, Y. R. Lee // *Chemosensors*. – 2022. – Vol. 10, No. 2. – P. 55.
13. Nesakumar, N., Srinivasan, S., & Alwarappan, S. Graphene quantum dots: Synthesis, properties, and applications to the development of optical and electrochemical sensors for chemical sensing / N. Nesakumar, S. Srinivasan, S. Alwarappan // *Microchimica Acta*. – 2022. – Vol. 189, No. 7. – P. 258.
14. Leibl, N., Haupt, K., Gonzato, C., & Duma, L. Molecularly imprinted polymers for chemical sensing: A tutorial review / N. Leibl, K. Haupt, C. Gonzato, L. Duma // *Chemosensors*. – 2021. – Vol. 9, No. 6. – P. 123.
15. Wang, B., & Anslyn, E. V. (Eds.). *Chemosensors: Principles, Strategies, and Applications* / B. Wang, E. V. Anslyn (Eds.). – John Wiley & Sons, 2011. – 504 p.
16. Justino, C. I., Duarte, A. C., & Rocha-Santos, T. A. Critical overview on the application of sensors and biosensors for clinical analysis / C. I. Justino, A. C. Duarte, T. A. Rocha-Santos // *TrAC Trends in Analytical Chemistry*. – 2016. – Vol. 85. – P. 36–60.

17. Justino, C. I., Freitas, A. C., Pereira, R., Duarte, A. C., & Santos, T. A. R. Recent developments in recognition elements for chemical sensors and biosensors / C. I. Justino, A. C. Freitas, R. Pereira, A. C. Duarte, T. A. R. Santos // TrAC Trends in Analytical Chemistry. – 2015. – Vol. 68. – P. 2–17.
18. Kress-Rogers, E. Handbook of Biosensors and Electronic Noses: Medicine, Food, and the Environment / E. Kress-Rogers. – CRC Press, 2024.