

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

Кафедра аналітичної хімії



“ЗАТВЕРДЖУЮ”

Директор ННХЕ ДВНЗ «УжНУ»

Лендел В. Г.

“ 27 ” червня 2023 року

РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ
АНАЛІТИЧНІ СЕНСОРНІ СИСТЕМИ

Рівень вищої освіти	другий (магістерський) рівень
Галузь знань	10 Природничі науки
Спеціальність	102 Хімія
Предметна спеціальність (Спеціалізація)	
Освітня програма	Хімія.
Статус дисципліни	обов'язкова
Мова навчання	Українська

Ужгород 2023

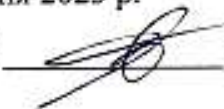
Робоча програма навчальної дисципліни «**Аналітичні сенсорні системи**» для здобувачів вищої освіти галузі знань **10 Природничі науки** спеціальності **102 Хімія** освітньо-професійної програми **Хімія**.

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

Робочу програму розглянуто та затверджено на засіданні кафедри *аналітичної хімії* протокол № 8 від «15» травня 2023 р.

Завідувач кафедри  Студеняк Я.І.

Схвалено науково-методичною комісією навчально-наукового інституту хімії та екології протокол № 10 від «26» червня 2023 р.

Голова науково-методичної комісії  Сливка М.В.

© Фершал М.В. 2023 р.

© ДВНЗ «Ужгородський національний університет», 2023 р.

1. ОПИС НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Найменування Показників	Розподіл годин за навчальним планом	
	Денна форма навчання	Заочна форма Навчання
Кількість кредитів ЄКТС –6	Рік підготовки:	
Загальна кількість годин – 180	1	0
Кількість модулів –2	Семестр:	
Тижневих годин для денної форми навчання:	2	0
аудиторних –4	Лекції:	
	28	0
самостійної роботи студента – 8	Практичні (семінарські):	
	0	0
Вид підсумкового контролю: іспит	Лабораторні:	
	32	0
Форма підсумкового контролю: усний	Самостійна робота:	
	120	0

2. МЕТА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Метою вивчення навчальної дисципліни «**Аналітичні сенсорні системи**» є поглиблене вивчення теорії сенсорних систем, методології їх виготовлення та використання на практиці аналітичної роботи.

Дослідження та розвиток хімічних аналітичних сенсорів є динамічним напрямком сучасної аналітичної хімії як науки. Курс «Аналітичні сенсорні системи» розроблено з метою засвоєння здобувачами освіти базових навичок та розуміння принципів роботи сенсорів та їх використання. Дана дисципліна направлена на ознайомлення студентів із сучасними аналітичними методами та техніками виконання аналізу з використанням сенсорних систем. В лекціях та лабораторному практикумі розглядаються питання конструювання сенсорних систем, принцип їх роботи та отримання аналітичного сигналу. Приводяться основні уявлення про електрохімічні, оптичні, гравіметричні та біосенсори їх

використання для аналізу складних об'єктів, у моніторингу довкілля та медицині. Таким чином основним завданням засвоєння дисципліни є ознайомлення здобувачів освіти з новим напрямком аналітичної хімії - хімічною сенсорикою.

Відповідно до освітньої програми «Хімія» за спеціальністю 102 Хімія, вивчення дисципліни сприяє формуванню у здобувачів вищої освіти таких компетентностей:

Компетентність	Спеціальність 102 хімія
ЗК2	Здатність вчитися і оволодівати сучасними знаннями
ЗК4	Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях
ЗК8	Здатність оцінювати та забезпечувати якість виконуваних робіт
ЗК14	Здатність до пошуку, критичного аналізу та обробки інформації з різних джерел.
ФК 3.	Здатність організовувати, планувати та реалізовувати хімічний експеримент.
ФК 4.	Здатність інтерпретувати, об'єктивно оцінювати і презентувати результати свого дослідження.
ФК 6.	Здатність здобувати нові знання в галузі хімії та інтегрувати їх із уже наявними.
ФК 7.	Здатність дотримуватися етичних стандартів досліджень і професійної діяльності в галузі хімії (академічна доброчесність, ризики для людей і довкілля тощо).

3. ПЕРЕДУМОВИ ДЛЯ ВИВЧЕННЯ НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Передумовами вивчення навчальної дисципліни «**Аналітичні сенсорні системи**» є опанування таких навчальних дисциплін (НД) відповідних освітніх програм (ОП):

Спеціальність 102 хімія (бакалавр)	
ОК 11	Неорганічна хімія
ОК 12	Аналітична хімія
ОК 17	Органічна хімія
ОК 18	Фізична хімія
ОК 15	Фізичні методи дослідження
ОК 22	Обчислювальна практика
Спеціальність 102 хімія (магістр)	
ОК 5	Хімія халькогенгалогенідних неорганічних сполук
ОК 6	Хімія халькогенгалогенідних органічних сполук
ОК 9	Прикладні аспекти нанохімії

4. ОЧІКУВАНІ РЕЗУЛЬТАТИ НАВЧАННЯ

Відповідно до освітніх програм «Хімія» за спеціальністю 102 Хімія, вивчення навчальної дисципліни повинно забезпечити досягнення здобувачами вищої освіти таких програмних результатів навчання (ПРН):

Програмні результати навчання	Шифр ПРН
Глибоко розуміти основні факти, концепції, принципи і теорії, що стосуються предметної області, опанованої у ході магістерської програми, використовувати їх для розв'язання складних задач і проблем, а також проведення досліджень з відповідного напрямку хімії.	2
Застосовувати отримані знання і розуміння для вирішення нових якісних та кількісних задач хімії.	3
Планувати, організовувати та здійснювати експериментальні дослідження з хімії з використанням сучасного обладнання, грамотно обробляти їх результати та робити обґрунтовані висновки.	10
Інтерпретувати експериментально отримані дані та співвідносити їх з відповідними теоріями в хімії.	14

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

Очікувані результати навчання з дисципліни	Шифр ПРН
Глибоко розуміти принцип роботи та будову хімічних та біологічних аналітичних сенсорів та орієнтуватись у областях їх практичного застосування, знати їх переваги та обмеження з метою їх використання у наукових дослідженнях та вирішенні прикладних задач хімії.	2
Вміти використовувати сенсорні пристрої для вирішення якісних та кількісних аналітичних завдань у нових об'єктах аналізу, визначенні нових аналітів, розробці нових та вдосконаленні вже існуючих сенсорних систем.	3
Вміти грамотно планувати експеримент, конструювати дослідні зразки сенсорів та інтегрувати їх у сучасне аналітичне обладнання із метою дослідження аналітичних та метрологічних характеристик.	10
Використовувати відомі підходи та рекомендації для опису характеристик сенсорів, проводити інтерпретацію отриманих на практиці результатів, розуміти та критично оцінювати літературні дані із різних джерел.	14

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 модуль 1

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

Розподіл балів, які отримують здобувачі вищої освіти модуль 2

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

Оцінювання окремих видів навчальної роботи з дисципліни

Вид діяльності здобувача вищої освіти	Модуль 1		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	2	10	1	10
Презентація	1	20	1	20
Модульна контрольна робота	1	50	1	50
Разом	5	100	5	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
0-34		F

Іспит виставляється автоматично, якщо у здобувача освіти за результатами підсумкового балу було набрано мінімум 60 % від можливих балів і здобувач освіти погоджується із оцінкою. Відповідно, ті здобувачі, хто не набрав мінімуму балів але отримав більше 34 % зобов'язані здавати іспит. Студенти які не виконали навчальну програму та отримали менше 34 % до іспиту не допускаються.

Критерії оцінки завдань іспиту:

- повна і правильна відповідь на теоретичні запитання та виконані або не повністю виконані практичні завдання (при наявності) - оцінка 90-100 балів;
- достатня відповідь на теоретичні запитання з деякими неточностями та вірно виконане практичне завдання (при наявності) - оцінка 70-89 балів;
- поверхова відповідь на теоретичне запитання та виконане практичне завдання без достатніх пояснень (при наявності) - оцінка 60-69 балів.

Незадовільно виставляється у тому випадку, якщо у здобувача освіти:

- поверхова відповідь на теоретичне запитання;
- відсутність будь-якої відповіді на теоретичне запитання,
- здобувач освіти набрав 59 і менше балів.

6. ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

6.1. Зміст навчальної дисципліни

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, ензими, олігонуклеотиди та нуклеїнові кислоти, ліпіди. 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 технологій. Тест для визначення глюкози у крові. Методи виготовлення сенсорів. Моношари, метод молекулярного друкування, фотолітографія, виготовлення ПВХ сенсорів.

Модуль № 2 Електрохімічні сенсори. Оптичні та п'єзо сенсори.

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.

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 полоски.

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					
	Форма навчання:					
	Усього	у тому числі				
		лекції	практичні (семінарські)	лабораторні	індивідуальна робота	самостійна робота
1-й семестр						
Модуль 1						
Тема №1. Предмет курсу. Введення в принципи хімічної сенсорики, хімічна інформація, перетворення сигналу, аналітичний сигнал та об'єм інформації в ньому.		2				10
Фізичні, фізико-хімічні та біологічні перетворювачі сигналу, типи сенсорів, класифікація.		2				10
Біохімічні сенсори, ензими, олігонуклеотиди та нуклеїнові кислоти, ліпіди. Імунорецептори. Каталітичні біосенсори;		2				10
Тема 2. Термінологія та робочий словник, основні дефініції: калібрування, градуювання, чутливість, межа виявлення, межа визначення, дрейф сигналу, час відгуку, селективність.		2		2		10
Основні вимоги до сенсорів як до аналітичних приладів. Тенденції розвитку сенсорних технологій. Тест для визначення глюкози у крові.		2		6		5

Методи виготовлення сенсорів. Моношари, метод молекулярного друкування, фотолітографія, виготовлення ПВХ сенсорів.		2		4		5
Модульна контрольна робота		2				5
Разом за модуль		14		12		60
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.		4		12		15
Тема №4 Амперометричні сенсори та їх хімічна модифікація. Електрод Кларка. Киснеміри. Біосенсори. Кондуктометричні системи контролю.		2				15
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.		4		8		15
Тема №6 Гравіметричні сенсори, п'єзокварцові резонатори. Кантилівери. Напівпровідникові сенсори, сенсори резистивного типу. Мультисенсорні системи, «Електронний ніс», «Електронний язик».		2				10
Модульна контрольна робота		2				5
Разом за модуль		14				60
Разом за семестр		28		32		120

6.3. Теми лабораторних занять

№ з/п	Назва теми	Кількість Годин
1	Виготовлення ПВХ пластифікованого тетрафторборат селективного сенсора та визначення його характеристик. Аналіз мінеральних вод на вміст борної кислоти.	10
2	Визначення вмісту води в органічному розчиннику з використанням молекулярно розмірного сенсора мікрооточення.	6
3	Виготовлення оптично-активної плівки, та отримання її спектру світлопоглинання.	8
4	Іонометричне визначення фторидів у зубній пасті	8
Разом		32

6.4. Самостійна робота

№	Назва теми	Кількість годин
1	Підготовка до лабораторних занять – теоретична підготовка та обробка отриманих результатів експерименту	70
2	Підготовка до написання модульних контрольних робіт	10
3	Ферменти як аналітичні реагенти	10
4	Електрод Кларка для визначення розчиненого кисню.	10
5	Сенсори у кінетичних методах аналізу.	10
6	Молекулярно-розмірні сенсори мікрооточення.	10
	Разом	120

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 з цифрових даних, система електронного навчання Moodle.

8. РЕКОМЕНДОВАНІ ДЖЕРЕЛА ІНФОРМАЦІЇ

Основна література

1. Hulanicki, Adam, Stanislav Glab, and F. O. L. K. E. Ingman. "Chemical sensors: definitions and classification." *Pure and applied chemistry* 63.9 (1991): 1247-1250.
2. Thevenot, D. R., Toth, K., Durst, R. A., & Wilson, G. S. (1999). *Electrochemical biosensors: recommended definitions and classification. Pure and applied chemistry*, 71(12), 2333-2348.
3. Thévenot, D. R., Toth, K., Durst, R. A., & Wilson, G. S. (2001). *Electrochemical biosensors: recommended definitions and classification. Biosensors and bioelectronics*, 16(1-2), 121-131.
4. Banica, Florinel-Gabriel. *Chemical sensors and biosensors: fundamentals and applications*. John Wiley & Sons, 2012.
5. Janata, Jiri. *Principles of chemical sensors*. Springer Science & Business Media, 2010.
6. Cattrall, Robert W. *Chemical sensors*. No. 04; TP159. C46, C3. 1997.
7. Goepel, Wolfgang, et al. *Sensors, chemical and biochemical sensors*. Vol. 2. John Wiley & Sons, 2008.
8. Fawcett, W. Ronald. *Liquids, solutions, and interfaces: from classical macroscopic descriptions to modern microscopic details*. Oxford University Press, 2004.
9. Kauffmann, J-M., and GC GUILBAULT. «Enzyme electrode biosensors: theory and applications.» *Methods of biochemical analysis* 36 (1992): 63-113.
10. Lakshminarayanaiah, Nallanna. *Membrane electrodes*. Elsevier, 2012.
11. Eggins, Brian R. *Chemical sensors and biosensors*. Vol. 2. John Wiley & Sons, 2002.

12. Narayanaswamy, Ramaier, and Otto S. Wolfbeis, eds. Optical sensors: industrial environmental and diagnostic applications. Vol. 1. Springer Science Business Media, 2013.

13. Фершал М.В. Аналітичні сенсорні системи: навчальний посібник / Укладач: М.В. Фершал. – Ужгород: Вид-во УжНУ «Говерла», 2022. – 220 с.

Допоміжна література

14. Lindner, Ernö, and Yoshio Umezawa. «Performance evaluation criteria for preparation and measurement of macro-and microfabricated ion-selective electrodes (IUPAC Technical Report).» Pure and Applied Chemistry 80.1 (2008): 85-104.

15. Liu, J., Cao, Z., & Lu, Y. (2009). Functional nucleic acid sensors. Chemical reviews, 109(5), 1948-1998.

16. Wang, Joseph. "Survey and summary: from DNA biosensors to gene chips." Nucleic acids research 28.16 (2000): 3011-3016.

17. Song, S., Wang, L., Li, J., Fan, C., & Zhao, J. (2008). Aptamer-based biosensors. TrAC Trends in Analytical Chemistry, 27(2), 108-117.

18. Haupt, K., Linares, A. V., Bompert, M., & Bui, B. T. S. (2011). Molecularly imprinted polymers. Molecular imprinting, 1-28. Buck, R. P., Lindner, E., Kutner, W., & Inzelt, G. (2004). Piezoelectric chemical sensors (IUPAC technical report). Pure and Applied Chemistry, 76(6), 1139-1160.

19. Kuchmenko, T. A., & Lvova, L. B. (2019). A perspective on recent advances in piezoelectric chemical sensors for environmental monitoring and foodstuffs analysis. Chemosensors, 7(3), 39.

20. Janshoff, A., Galla, H. J., & Steinem, C. (2000). Piezoelectric mass-sensing devices as biosensors—an alternative to optical biosensors?. Angewandte Chemie International Edition, 39(22), 4004-4032.

21. Lucklum, R., & Hauptmann, P. (2006). Acoustic microsensors—the challenge behind microgravimetry. Analytical and bioanalytical chemistry, 384(3), 667-682.

22. Uludağ, Y., & Tothill, I. E. (2010). Development of a sensitive detection method of cancer biomarkers in human serum (75%) using a quartz crystal microbalance sensor and nanoparticles amplification system. Talanta, 82(1), 277-282.

23. Ferrari, V., & Lucklum, R. (2009). Overview of acoustic-wave microsensors. In Piezoelectric transducers and applications (pp. 39-62). Springer, Berlin, Heidelberg.

24. Stutzmann, M., Garrido, J. A., Eickhoff, M., & Brandt, M. S. (2006). Direct biofunctionalization of semiconductors: A survey. Physica status solidi (a), 203(14), 3424-3437.

25. Trojanowicz, M., & Miernik, A. (2001). Bilayer lipid membrane glucose biosensors with improved stability and sensitivity. *Electrochimica acta*, 46(7), 1053-1061.
26. Gupta, R., & Kumar, A. (2008). Molecular imprinting in sol- gel matrix. *Biotechnology Advances*, 26(6), 533-547.
27. Chaudhury, N. K., Gupta, R., & Gulia, S. (2007). Sol-gel technology for sensor applications. *Defence Science Journal*, 57(3), 241.
28. Ulijn, R. V., Bibi, N., Jayawarna, V., Thornton, P. D., Todd, S. J., Mart, R. J., & Gough, J. E. (2007). Bioresponsive hydrogels. *Materials today*, 10(4), 40-48.
29. Schöning, Michael J., and Joachim P. Klock. «About 20 years of silicon-based thin-film sensors with chalcogenide glass materials for heavy metal analysis: Technological aspects of fabrication and miniaturization.» *Electroanalysis: An International Journal Devoted to Fundamental and Practical Aspects of Electroanalysis* 19.19-20 (2007): 2029-2038.
30. Bakker, Eric, and Ernö Pretsch. «Potentiometric sensors for trace-level analysis.» *TrAC Trends in Analytical Chemistry* 24.3 (2005): 199-207.
31. Severinghaus, John W., Poul Astrup, and John F. Murray. «Blood gas analysis and critical care medicine.» *American journal of respiratory and critical care medicine* 157.4 (1998): S114-S122.
32. Privett, B. J., Shin, J. H., Schoenfisch, M. H. (2010). Electrochemical nitric oxide sensors for physiological measurements. *Chemical Society Reviews*, 39(6), 1925-1935.
33. Riegel, J., Neumann, H., Wiedenmann, H. M. (2002). Exhaust gas sensors for automotive emission control. *Solid State Ionics*, 152, 783-800.
34. Habermüller, K., Mosbach, M., Schuhmann, W. (2000). Electron-transfer mechanisms in amperometric biosensors. *Fresenius' journal of analytical chemistry*, 366(6), 560-568.