



МОНІТОРИНГ НАВКОЛИШНЬОГО ПОВІТРЯНОГО СЕРЕДОВИЩА НАЙНОВІШИМИ СЕНСОРНИМИ СИСТЕМАМИ

Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

Реквізити навчальної дисципліни	
Рівень вищої освіти	<i>Другий (магістерський)</i>
Галузь знань	<i>16 Хімічна та біоінженерія</i>
Спеціальність	<i>161 Хімічні технології та інженерія</i>
Освітня програма	<i>Хімічні ресурсоефективні технології неорганічних та органічних речовин, матеріалів та покриттів</i>
Статус дисципліни	<i>Нормативна</i>
Форма навчання	<i>Очна (денна) / змішана</i>
Рік підготовки, семестр	<i>2 курс, 2024 -2025 навч. рік, осінній семестр</i>
Обсяг дисципліни	<i>6 кредитів (180 годин): 18 годин лекції, 18 годин практичні, 54 години лабораторні, 90 годин самостійна робота</i>
Семестровий контроль/ контрольні заходи	<i>Екзамен / 1 МКР, 1 ДКР/</i>
Розклад занять	<i>Лекції 1 година на тиждень; практичні 1 година на тиждень; лабораторні заняття 3 години на тиждень</i>
Мова викладання	<i>Українська</i>
Інформація про керівника курсу / викладачів	<i>Лектор: д.т.н., професор Лінючева Ольга Володимирівна, ovlin13@kpi.ua, Telegram @Linyucheva Лабораторні роботи: к.т.н., старший викладач Кушмирук Андрій Іванович, kushmyruk.andrii@lll.kpi.ua, Telegram @kushmyruk</i>
Розміщення курсу	<i>Google Classroom (Google G Suite for Education, домен LLL.kpi.ua, платформа Sikorsky-distance); доступ за запрошенням викладача</i>

Програма навчальної дисципліни

1. Опис навчальної дисципліни, її мета, предмет вивчення та результати навчання

Освітній компонент (ОК) «Моніторинг навколишнього повітряного середовища найновішими сенсорними системами» знайомить здобувачів вищої освіти (ЗВО) з фізико-хімічними принципами екологічного моніторингу навколишнього середовища та робочої зони різних виробництв, функціонування і можливості застосування хімічних сенсорів у різноманітних областях людської життєдіяльності, включаючи автоматизовані системи контролю за технологічними параметрами хімічних процесів та дозволяє сформуванню у студента здатність розв'язувати складні задачі і проблеми хімічних технологій та інженерії або у процесі навчання, що передбачає проведення досліджень, або здійснення інновацій, що характеризується невизначеністю умов і вимог.

Метою є формування у здобувачів вищої освіти (ЗВО) наступних компетентностей:

- здатність генерувати нові ідеї (креативність) (K1);
- здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях (K2);
- здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел (K3);
- здатність оцінювати і адаптувати освоєні наукові методи і способи діяльності до умов сталого розвитку (K4);
- здатність досліджувати, класифікувати і аналізувати показники якості хімічної продукції, технологічних процесів і обладнання хімічних виробництв (K5);
- здатність використовувати результати наукових досліджень і дослідно-конструкторських розробок для вдосконалення існуючих та/або розробки нових технологій і обладнання хімічних виробництв (K7);
- здатність використовувати сучасне спеціальне наукове обладнання та програмне забезпечення при проведенні експериментальних досліджень і здійсненні дослідно-конструкторських розробок у сфері хімічних технологій та інженерії (K8);
- здатність планувати і виконувати наукові дослідження у галузі хімічної інженерії (K11).

Згідно з вимогами програми здобувачі після засвоєння ОК мають продемонструвати такі програмні результати навчання:

- критично осмислювати наукові концепції та сучасні теорії хімічних процесів та хімічної інженерії, застосовувати їх при проведенні наукових досліджень та створенні інновацій (ПР1);
- здійснювати пошук необхідної інформації з хімічної технології, процесів і обладнання виробництв хімічних речовин та матеріалів на їх основі, систематизувати, аналізувати та оцінювати відповідну інформацію (ПР2);
- оцінювати технічні і економічні характеристики результатів наукових досліджень, дослідно-конструкторських розробок, технологій та обладнання хімічних виробництв (ПР4);
- здійснювати у науково-технічній літературі, патентах, базах даних, інших джерелах пошук необхідної інформації з хімічної технології, процесів і обладнання виробництв хімічних речовин та матеріалів на їх основі, систематизувати, і аналізувати та оцінювати відповідну інформацію (ПР7);
- планувати та виконувати експериментальні і теоретичні дослідження в сфері хімічних технологій і інженерії, формулювати і перевіряти гіпотези, аргументувати висновки, презентувати результати досліджень (ПР10).

2. Пререквізити та постреквізити ОК (місце в структурно-логічній схемі навчання за відповідною освітньою програмою)

Для успішного засвоєння ОК студенту необхідні знання та уміння, що були отримані під час вивчення ОК «Загальна та неорганічна хімія», «Фізика», «Аналітична хімія», «Фізична хімія», «Теоретична електрохімія», «Матеріалознавство», «Технічна електрохімія», «Загальна хімічна технологія».

Дисципліни, які базуються на результатах навчання: дисципліни циклу професійної підготовки, в рамках яких необхідний вибір методів і засобів контролю хімічного складу досліджуваних об'єктів та для подальшої професійної діяльності.

3. Зміст навчальної дисципліни

Тема 1. Захист повітряного середовища від забруднення промисловими джерелами.

Класифікація методів та апаратів для знешкоджування газових викидів. Забруднювачі атмосфери. Викиди в атмосферу та їх характеристики. Нормативні якості атмосферного повітря.

Тема 2. Особливості хіміко-технологічних та екозахисних процесів.

Характеристика екозахисних процесів; основні поняття, терміни, визначення. Класифікація екозахисних процесів. Схема екологічного чистого виробництва (замкнений комплекс). Типові екозахисні процеси. Хімічні особливості екозахисного процесу, технологічні особливості екозахисного процесу, екологічні особливості екозахисного процесу. Розробка технологічної схеми екозахисного процесу із врахування хіміко-технологічних та екологічних факторів. Фактори антропогенного (технологічного) впливу.

Тема 3. Сучасні засоби моніторингу екологічної безпеки техногенних середовищ.

3.1. Хімічні сенсори. Визначення поняття хімічний сенсор за ІЮПАК. Створення хімічних сенсорів як один з ключових напрямів розвитку сучасної аналітичної хімії. Основні споживачі аналітичних пристроїв на основі ХС. Класифікація ХС за типом первинного перетворювача: оптичні, масочутливі, теплочутливі та електрохімічні. Оптоди. Масочутливі ХС на основі п'єзоелектричного ефекту. Теплочутливі (калориметричні) ХС. Термісторні сенсори. Пемістори. Для сенсорів за теплопровідністю (кондуктометричні). Електрохімічні сенсори (потенціометричні та вольтамперометричні).

3.2. Потенціометричні сенсори. Потенціал електроду. Рівняння рівноваги потенціалу за Нернстом. Електроди I і II роду. Газові електроди. Інертні електроди. Сурм'яний електрод. Іонселективні електроди за ІЮПАК. Скляний електрод. Сенсорні мембрани. Газочутливі іонселективні електроди. Сенсори на основі діоксиду цирконію

3.3. Кондуктометричні, кулонометричні та вольтамперометричні сенсори. Кондуктометрія. Три типи комірок для вимірювання електропровідності. Кулонометрія. Кулонометричні сенсори, їх застосування. Вольтамперометрія та ХС на її основі.

Тема 4. Електрохімічні сенсори амперометричного типу.

4.1. Кінетика електродних процесів в амперометричних сенсорах. Види перенапруги. Рівняння Тафеля. Масоперенос реагуючих речовин в умовах перебігу реакції за трьома механізмами: молекулярної дифузії, конвекції та міграції. Залежність сили струму, перенапруги при електрохімічній, концентраційній та загальній перенапругах.

4.2. Дифузія у газових середовищах. Дифузія газів у пористих середовищах та каналах. Поняття дифузійного бар'єру сенсора. Визначення граничного струму за законами Фіка. Залежність струмового сенсора від вмісту концентрації кисню та домішок в повітряному середовищі. Профіль зміни концентрації визначуваного газу вздовж дифузійних бар'єрів сенсорів (для газових

4.3. Будова та технічні характеристики газових сенсорів амперометричного типу. Варіанти конструктиву газових сенсорів амперометричного типу; дво-, триелектродні сенсори. Поняття робочого (індикаторного), допоміжного електродів. Сепаратори та електроліти для сенсорів. Реакції, які перебігають на робочому та допоміжному електродах при масо переносі з оточуючого газового середовища. Метрологічні характеристики сенсорів: діапазон вимірювання, зміна вихідного сигналу за регламентний час, час реагування ($\tau_{0,5}$ та $\tau_{0,9}$); селективність; зміна в часі фонового струму та струмового сигналу сенсора під дією визначуваного газу; залежність струмових сигналів сенсорів від концентрації визначуваного газу; термін придатності. Пористі фільтри. Коефіцієнт нормування вихідного сигналу сенсора.

4.4. Сучасні газові амперометричні сенсори для моніторингу повітря. Сенсор по визначенню кисню, токсичних та горючих газів (H_2 ; CO_2 ; CO ; H_2S ; NO_2 ; O_3 ; Cl_2 ; F_2 ; Br_2 ; ClO_2 ; HCN ; HCl ; HF ; NH_3 ; PH_3).

Тема 5. Сенсори на основі твердих та матричних електролітів.

5.1. Сенсори на основі твердих електролітів. Поняття твердий протонний електроліт (кваситвердий). Схеми дво- та триелектродної комірок для сенсорів. Роль твердого електроліту для комірок сенсорів. Схема структури робочого електрода та модель газової пари з трифазовою межею поділу. Потенціодинамічні криві (поляризаційні) у повітряному середовищі. Е/Х поведінка та корозійна стійкість каталітично активних матеріалів у повітряному середовищі.

5.2. Твердотільні сенсорні системи з матричним електролітом. Поняття матричного електроліту. Метрологічні характеристики чутливих елементів сенсорів на основі електропровідної матриці.

5.3. Уніфікована серія твердо тільних газових сенсорів новітнього покоління. Уніфікація газових сенсорів для визначення токсичних домішок в повітрі (власні розробки хіміко-технологічного факультету КПІ ім. Ігоря Сікорського). Габаритні розміри, загальний вигляд, технічні та метрологічні характеристики. Порівняльні характеристики сенсорів КПІ ім. Ігоря Сікорського та сенсорів провідних фірм світу («City Technologies» Велика Британія, «Sensoric» Німеччина).

5.4. Сенсори і генератори галогенів. Сенсори галогенів (Cl_2 , Br_2 , I_2), як на основі твердих електролітів, так і на матричних електролітах. Сфери застосування. Реакції, які перебігають на електроді сенсорів Cl_2 , Br_2 , I_2 . Діапазони вимірювання. Калібрування сенсорів на галогени. Кулонометричні стаціонарні дозатори газових сумішей, їх технічні характеристики. Мікрогенератор Cl_2 . Сенсорний блок (сенсор + генератор Cl_2). Нормативи якості атмосферного повітря.

Тема 6. Газоаналізатори та системи на основі амперометричних сенсорів для моніторингу повітряного середовища.

Портативні та стаціонарні газоаналізатори; багатоканальні газоаналізатори; газоаналізатори для оптимізації процесів горіння полива. Безеталонний метод визначення домішок у повітрі системою сенсорів уніфікованої серії КПІ ім. Ігоря Сікорського.

4. Навчальні матеріали та ресурси

Навчальні матеріали, зазначені нижче, доступні у бібліотеці університету та у бібліотеці кафедри технології електрохімічних виробництв. Обов'язковою до вивчення є базова література, інші матеріали – факультативні. Розділи та теми, з якими студент має ознайомитись самостійно, викладач зазначає на лекційних та практичних заняттях.

Базова:

1. Bănică F.G. *Chemical Sensors and Biosensors: Fundamentals and Applications*. – John Wiley & Sons, Ltd, Chichester, UK., 2012. 580p. DOI: 10.1002/9781118354162
2. *Progresses in Chemical Sensor*. / Wang W. (Ed.). – IntechOpen, 2016. – 190 p. DOI: 10.5772/61376
3. Kohl C.-D.; Wagner T. *Gas Sensing Fundamentals* – Springer Series on Chemical Sensors and Biosensors, 2014. – 342 p. DOI: 10.1007/978-3-642-54519-1.
4. Janata J. *Principles of chemical sensors*. – Springer Science & Business Media., 2010. – 382 p. – DOI: 10.1007/978-0-387-69931-8

5. Лінючева О.В., Кушмирук А.І., Букет О.І., Косогін О.В., Лінючев О.Г. Моніторинг повітряного середовища найновішими сенсорними системами. Навчальний посібник. Електронне видання, Київ, 2024 .

Додаткова

1. Mirzaei A., Ansari H.R., Shahbaz M., Kim J.Y., Kim H.W., Kim S.S. (2022). Metal Oxide Semiconductor Nanostructure Gas Sensors with Different Morphologies. *Chemosensors*, 10(7), 289. DOI: 10.3390/chemosensors10070289
2. Lee D.Y., Yu J.B., Byun H.G., Kim H.J. (2022). Chemoresistive Sensor Readout Circuit Design for Detecting Gases with Slow Response Time Characteristics. *Sensors*, 22(3), 1102. DOI: 10.3390/s22031102
3. Duan Q., Liu Y., Chang S., Chen H., Chen J.H. (2021). Surface plasmonic sensors: sensing mechanism and recent applications. *Sensors*, 21(16), 5262. DOI: 10.3390/s21165262
4. Mahato K., Wang J. (2021). Electrochemical sensors: From the bench to the skin. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 344, 130178. DOI: 10.1016/j.snb.2021.130178
5. Wang X.D., Wolfbeis O.S. (2019). Fiber-optic chemical sensors and biosensors (2015–2019). *Analytical chemistry*, 92(1), 397-430. DOI: 10.1021/acs.analchem.9b04708
6. Neema P.M., Tomy A.M., Cyriac J. (2020). Chemical sensor platforms based on fluorescence resonance energy transfer (FRET) and 2D materials. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 124, 115797. DOI: 10.1016/j.trac.2019.115797
7. 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. DOI: 10.3390/chemosensors7030039
8. Panneerselvam G., Thirumal V., Pandya H. M. (2018). Review of Surface Acoustic Wave Sensors for the Detection and Identification of Toxic Environmental Gases/Vapours. *Archives of Acoustics*, 357-367. DOI: 10.24425/12390810.24425/123908

Інформаційні ресурси

11. Дистанційний курс Google G Suite for Education. Режим доступу: Google Classroom (Google G Suite for Education, домен LLL.kpi.ua, платформа Sikorsky-distance); код курсу **m4mfwge**.

Навчальний контент

5. Методика опанування навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Лекційні заняття

Проведення лекцій з дисципліни проводиться паралельно з розглядом питань, що виносяться на практичні заняття та самостійну роботу. При проведенні лекцій застосовуються засоби для відеоконференцій (Google Meet, Zoom тощо) та ілюстративний матеріал у вигляді презентацій, які розміщені на платформі Sikorsky-distance. Після кожної лекції рекомендується ознайомитись з матеріалами, рекомендованими для самостійного вивчення, а перед наступною лекцією та практичними заняттями – повторити матеріал попередньої.

№ з/п	Назва теми лекції та перелік основних питань
1	<p><u>Тема 1. Захист повітряного середовища від забруднення промисловими джерелами</u> Класифікація методів та апаратів для знешкодження газових викидів. Забруднювачі атмосфери. Викиди в атмосферу та їх характеристики. Нормативні якості атмосферного повітря.</p>
2	<p><u>Тема 2. Особливості хіміко-технологічних та екозахисних процесів</u> Характеристика екозахисних процесів; основні поняття, терміни, визначення. Класифікація екозахисних процесів. Схема екологічного чистого виробництва (замкнений комплекс). Типові екозахисні процеси. Хімічні особливості екозахисного процесу, технологічні особливості екозахисного процесу, екологічні особливості екозахисного процесу. Розробка технологічної схеми екозахисного процесу із врахування хіміко-технологічних та екологічних факторів. Фактори антропогенного (технологічного) впливу.</p>
3	<p><u>Тема 3. Сучасні засоби моніторингу екологічної безпеки техногенних середовищ</u> Хімічні сенсори. Визначення поняття хімічний сенсор за ІЮПАК. Створення хімічних сенсорів як один з ключових напрямів розвитку сучасної аналітичної хімії. Основні споживачі аналітичних пристроїв на основі ХС. Класифікація ХС за типом первинного перетворювача: оптичні, масочутливі, теплочутливі та електрохімічні. Оптоди. Масочутливі ХС на сонові п'єзоелектричного ефекту. Теплочутливі (калориметричні) ХС. Термісторні сенсори. Пемістори. Для сенсорів за теплопровідністю (кондуктометричні). Електрохімічні сенсори (потенціометричні та вольтамперометричні).</p>
4	<p><u>Електрохімічні сенсори. Потенціометричні, кондуктометричні, кулонометричні та вольтамперометричні сенсори</u> Потенціометричні сенсори. Потенціал електроду. Рівняння рівноваги потенціалу за Нернстом. Електроди I і II роду. Газові електроди. Інертні електроди. Сурм'яний електрод. Іонселективні електроди за ІЮПАК. Скляний електрод. Сенсорні мембрани. Газочутливі іонселективні електроди. Сенсори на основі діоксиду цирконію. Кондуктометричні, кулонометричні та вольтамперометричні сенсори. Кондуктометрія. Три типи комірок для вимірювання електропровідності. Кулонометрія. Кулонометричні сенсори, їх застосування. Вольтамперометрія та ХС на її основі.</p>
5	<p><u>Тема 4. Електрохімічні сенсори амперометричного типу</u> Кінетика електродних процесів в амперометричних сенсорах. Види перенапруги. Рівняння Тафеля. Масоперенос реагуючих речовин в умовах перебігу реакції за трьома механізмами: молекулярної дифузії, конвекції та міграції. Залежність сили струму, перенапруги при електрохімічній, концентраційній та загальній перенапругах. Дифузія у газових середовищах. Дифузія газів у пористих середовищах та каналах. Поняття дифузійного бар'єру сенсора. Визначення граничного струму за законами Фіка. Залежність струмового сенсора від вмісту концентрації кисню та домішок в повітряному середовищі. Профіль зміни концентрації визначуваного газу вздовж дифузійних бар'єрів сенсорів.</p>
6	<p><u>Будова та технічні характеристики газових сенсорів амперометричного типу</u></p>

	<p>Варіанти конструктиву газових сенсорів амперометричного типу; дво-, триелектродні сенсори. Поняття робочого (індикаторного), допоміжного електродів. Сепаратори та електроліти для сенсорів. Реакції, які перебігають на робочому та допоміжному електродах при масо переносі з оточуючого газового середовища. Метрологічні характеристики сенсорів: діапазон вимірювання, зміна вихідного сигналу за регламентний час, час реагування ($\tau_{0,5}$ та $\tau_{0,9}$); селективність; зміна в часі фонового струму та струмового сигналу сенсора під дією визначуваного газу; залежність струмових сигналів сенсорів від концентрації визначуваного газу; термін придатності. Пористі фільтри. Коефіцієнт нормування вихідного сигналу сенсора.</p> <p>Сучасні газові аерометричні сенсори для моніторингу повітря. Сенсор по визначенню кисню, токсичних та горючих газів (H_2; CO_2; CO; H_2S; NO_2; O_3; Cl_2; F_2; Br_2; ClO_2; HCN; HCl; HF; NH_3; PH_3).</p>
7	<p><u>Тема 5. Сенсори на основі твердих та матричних електролітів</u></p> <p>Сенсори на основі твердих електролітів. Поняття твердий протонний електроліт (квазітвердий). Схеми дво- та триелектродної комірок для сенсорів. Роль твердого електроліту для комірок сенсорів. Схеми структури робочого електроду та модель газової пари з трифазовою межею поділу. Потенціодинамічні криві (поляризаційні) у повітряному середовищі. Е/Х поведінка та корозійна стійкість каталітично активних матеріалів у повітряному середовищі.</p> <p>Твердотільні сенсорні системи з матричним електролітом. Поняття матричного електроліту. Метрологічні характеристики чутливих елементів сенсорів на основі електропровідної матриці.</p>
8	<p><u>Уніфікована серія твердо тільних газових сенсорів новітнього покоління</u></p> <p>Уніфікація газових сенсорів для визначення токсичних домішок в повітрі (власні розробки хіміко-технологічного факультету КПІ ім. Ігоря Сікорського). Габаритні розміри, загальний вигляд, технічні та метрологічні характеристики. Порівняльні характеристики сенсорів КПІ ім. Ігоря Сікорського та сенсорів провідних фірм світу («City Technologies» Великобританія, «Sensoric» Німеччина).</p> <p>Сенсори і генератори галогенів. Сенсори галогенів (Cl_2, Br_2, I_2), як на основі твердих електролітів, так і на матричних електролітах. Сфери застосування. Реакції, які перебігають на електроді сенсорів Cl_2, Br_2, I_2. Діапазони вимірювання. Калібрування сенсорів на галогени. Кулонометричні стаціонарні дозатори газових сумішей, його технічні характеристики. Мікрогенератор Cl_2. Сенсорний блок (сенсор + генератор Cl_2). Нормативи якості атмосферного повітря.</p>
9	<p><u>Тема 6. Газоаналізатори та системи на основі амперометричних сенсорів для моніторингу повітряного середовища</u></p> <p>Портативні та стаціонарні газоаналізатори; багатоканальні газоаналізатори; газоаналізатори для оптимізації процесів горіння полива. Безталонний метод визначення домішок у повітрі системою сенсорів уніфікованої серії КПІ ім. Ігоря Сікорського.</p>

Практичні заняття

з/п	Назва теми заняття та перелік основних питань
1	Практичне заняття №1. Класифікація ХС за типом первинного перетворювача: оптичні, масочутливі, теплочутливі та електрохімічні. Оптоди.
2	Практичне заняття №2. Кулонометрія. Кулонометричні сенсори, їх застосування. Закони Фарадея. Вихід за струмом. Кулонометричні генератори еталонних та повірочних сумішей. Пряма та непряма кулонометрія.
3	Практичне заняття №3. Кондуктометричні, кулонометричні та вольтамперометричні сенсори. Кондуктометрія. Три типи комірок для вимірювання електропровідності.
4	Практичне заняття №4. Вольтамперометрія та ХС на її основі.
5	Практичне заняття №5. Кінетика електродних процесів в амперометричних сенсорах. Види перенапруги. Рівняння Тафеля. Масоперенос реагуючих речовин в умовах перебігу реакції за трьома механізмами: молекулярної дифузії, конвекції та міграції. Залежність сили струму, перенапруги при електрохімічній, концентраційній та загальній перенапругах.
6	Практичне заняття №6. Дифузія у газових середовищах. Дифузія газів у пористих середовищах та каналах. Поняття дифузійного бар'єру сенсора. Визначення граничного струму за законами Фіка. Залежність струмового сенсора від вмісту концентрації кисню та домішок в повітряному середовищі. Профіль зміни концентрації визначуваного газу вздовж дифузійних бар'єрів сенсорів (для газових).
7	Практичне заняття №7. Загальна характеристика методів іммобілізації активних компонентів біосенсора. Методи нековалентної іммобілізації: Адсорбція. Фізичне захоплення в полімерну матрицю. Електрополімеризація. Пошаровий метод. Включення в полііонні комплекси. Ліпід-мембранні сенсори.
8	Практичне заняття №8. Три покоління біосенсорів: перше покоління – кисневий електрод; друге покоління – медіатори, третє покоління – ферментні електроди.
9	Практичне заняття №9. Автоматичні системи управління хімічних процесів із застосуванням хімічних сенсорів. Системи моніторингу повітря робочої зони.

Лабораторні роботи

Основні завдання циклу лабораторних занять - це використання одержаних на лекціях знань, ознайомлення з технічною реалізацією відомих з лекційного курсу процесів та закріплення теоретичного матеріалу.

№ з/п	Назва лабораторної роботи	Кількість ауд. годин
1	Вивчення впливу природи електрокаталізатора на величину вихідного сигналу та селективність електрохімічних сенсорів діоксиду сульфуру (розробки хіміко-технологічного факультету КПІ ім. Ігоря Сікорського) для моніторингу повітряного середовища.	9
2	Визначення вихідних характеристик електрохімічних сенсорів амперметричного типу для визначення вмісту спирту в повітряному	9

	<i>середовищі (розробки хіміко-технологічного факультету КПІ ім. Ігоря Сікорського).</i>	
3	<i>Визначення концентрації газового компонента непрямим кулонометричним методом з використанням двох амперометричних сенсорів.</i>	9
4	<i>Визначення вмісту кисню та перекису водню у воді з використанням вольтамперометричних сенсорів.</i>	9
5	<i>Визначення концентрації компонента розчину потенціометричним методом.</i>	9
6	<i>Хронопотенціометричне визначення коефіцієнту дифузії іонів міді в водних розчинах.</i>	9
	<i>Всього</i>	54

6. Самостійна робота студента/аспіранта

Самостійна робота студента (СРС) протягом семестру включає повторення лекційного матеріалу, проведення розрахунків та оформлення звітів з лабораторних робіт; виконання модульної контрольної роботи, виконання ДКР - створення презентації для кожного студента за індивідуальною темою, підготовка до екзамену. Рекомендована кількість годин, яка відводиться на підготовку до зазначених видів робіт:

<i>Вид СРС</i>	<i>Кількість годин на підготовку</i>
<i>Підготовка до аудиторних занять: повторення лекційного матеріалу; проведення розрахунків та оформлення звітів з лабораторних робіт; підготовка до проведення практичних завдань та виконання розрахунків</i>	<i>2 - 3 години на тиждень</i>
<i>Підготовка до модульної контрольної роботи</i>	<i>10 годин</i>
<i>Виконання модульної контрольної роботи</i>	<i>2 години</i>
<i>ДКР - Створення презентації</i>	<i>3-4 години</i>
<i>Захист презентації</i>	<i>0,5 години</i>
<i>Підготовка до екзамену</i>	<i>20 годин</i>
<i>Всього на СРС</i>	<i>90 годин</i>

Політика та контроль

7. Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

У звичайному режимі роботи університету лекційні, практичні та лабораторні заняття проводяться в навчальних аудиторіях. У змішаному режимі лекційні заняття проводяться через платформу дистанційного навчання Сікорський, практичні та лабораторні заняття – в навчальних аудиторіях. У дистанційному режимі всі заняття проводяться через платформу дистанційного навчання Сікорський. Відвідування лекційних, практичних та лабораторних занять є обов'язковим.

Правила захисту лабораторних робіт:

- До захисту допускаються студенти, які виконали лабораторну роботу, правильно виконали розрахунки та вірно оформили протокол з лабораторної роботи (при неправильно виконаних розрахунках чи неякісному оформленні недоліки слід усунути).*
- Захист відбувається або на лабораторних заняттях під час технологічно обумовлених перерв, або на консультаціях з дисципліни, які проводяться щотижнево.*

3. Після захисту лабораторної роботи, який полягає у виконанні індивідуального розрахункового завдання або теоретичному опитуванні за темою лабораторної роботи викладачем виставляється загальна оцінка і робота вважається захищеною.
4. Несвоєчасний захист – наявність більше одної незахищеної роботи – в звичайному та змішаному режимах роботи Університету є підставою для не допуску до виконання наступної лабораторної роботи.

Правила призначення заохочувальних балів: повні відповіді на лекції; активна робота на практичних заняттях; креативне виконання ДКР.

Політика дедлайнів та перескладань: визначається п. 8 Положення про поточний, календарний та семестровий контроль результатів навчання в КПІ ім. Ігоря Сікорського

Політика щодо академічної доброчесності: визначається політикою академічної чесності та іншими положеннями Кодексу честі університету.

8. Види контролю та рейтингова система оцінювання результатів навчання (PCO)

Поточний контроль: виконання та захист лабораторних робіт, виконання модульної контрольної роботи.

Рейтингова система оцінювання результатів навчання

Рейтингова система оцінювання результатів навчання

Рейтинг студента з кредитного модуля розраховується виходячи із 100-бальної шкали, з них 60 бали складає стартова шкала. Стартовий рейтинг (протягом семестру) складається з балів, що студент отримує за:

- виконання та захист 6 лабораторних робіт - в звичайному та змішаному режимах роботи Університету або 5 лабораторних робіт - в дистанційному режимі роботи Університету;
- виконання модульної контрольної роботи;
- виконання ДКР та її презентація на практичних заняттях.

Критерії нарахування балів:

1. Виконання лабораторних робіт

Ваговий бал – 10 **балів**. Бали за лабораторну роботу розраховуються як сума балів за виконання окремих етапів роботи – допуск (1 бал), виконання роботи (3 бала), якість оформленого протоколу (3 бала) та захист роботи (3 бала). Оцінювання роботи проводиться за наступною шкалою:

Допуск до роботи

- при перевірці готовності до ЛР надаються вірні і вичерпні відповіді; підготовлено в повному обсязі схему протоколу лабораторної роботи – 1,0 бал;
- при перевірці готовності студент має утруднення при формулюванні вірних відповідей; є зауваження щодо підготовки протоколу – 0,5 балів;

Виконання лабораторної роботи

- безпомилкове виконання завдання ЛР в повному обсязі з наявністю елементів творчого підходу при безумовному додержанні правил і норм техніки безпеки – 3,0 бала;
- виконання завдання ЛР в повному обсязі при додержанні правил і норм техніки безпеки – 2 бала;
- виконання завдань ЛР в повному обсязі при наявності зауважень з боку викладача щодо необґрунтованого відхилення від методичних вказівок або щодо додержання вимог техніки безпеки – 1,0 бал;

- невиконання завдань ЛР в повному обсязі за відведений час при наявності зауважень з боку викладача щодо вірності виконання роботи або додержання вимог техніки безпеки – 0,5 балів;

Захист лабораторної роботи та якість оформленого протоколу

- наявність впевнених знань і набутих вмій з завдань виконаної ЛР; бездоганне оформлення протоколу та інших матеріалів – 3,0 бала (не менше 90 % потрібної інформації);
- наявність суттєвих зауважень щодо повноти, грамотності і охайності при оформленні матеріалів з виконаної ЛР – 2,0 бал (не менше 60 % потрібної інформації);
- значні зауваження щодо повноти і оформлення протоколу; неспроможність дати відповідь по виконаній роботі – 0,5 бала.

2. Презентація

Ваговий бал – 10 балів. Оцінювання проводиться за наступною шкалою:

- бездоганна презентація на завдання по індивідуальній темі при наявності елементів продуктивного (творчого) підходу; демонстрація вміння впевненого застосування фундаментальних знань з хімії при відповіді на контрольне завдання - (8-10 балів);
- наявність 1-2 незначних, непринципових помилок при відповіді на контрольне завдання – (5-7 балів);
- наявність суттєвих помилок при відповіді на контрольне завдання – (2-4 бали);
- наявність принципових помилок при відповіді на контрольне завдання – (0 – 1 бал).

3. Модульна контрольна робота (МКР)

Ваговий бал – 10 балів. Кожне завдання на МКР складається з 5 питань теоретичного характеру (ваговий бал 2). Кількість балів за МКР розраховується як сума балів за кожне питання. Оцінювання проводиться за наступною шкалою:

- бездоганна відповідь на завдання при наявності елементів продуктивного (творчого) підходу; демонстрація вміння впевненого застосування фундаментальних знань з хімії при відповіді на контрольне завдання – 2 бала;
- наявність 1-2 незначних, непринципових помилок при відповіді на контрольне завдання – 1,5 бала;
- наявність суттєвих помилок при відповіді на контрольне завдання - 1 бал;
- наявність принципових помилок при відповіді на контрольне завдання – 0 балів.

Календарний контроль: проводиться двічі на семестр як моніторинг поточного стану виконання вимог силабусу. Умовою отримання позитивної оцінки з календарного контролю є рейтинг студента 50 % від максимально можливого на час календарного контролю. На **першому календарному контролі** (8-й тиждень) студент отримує «атестований», якщо його поточний рейтинг не менше $0,5 \cdot 9^1 = 5$ балів. На **другому календарному контролі** (14-й тиждень) студент отримує «атестований», якщо його поточний рейтинг не менше $0,5 \cdot 21^2 = 11$ балів.

Семестровий контроль: екзамен.

На екзамені студенти мають відповісти на питання екзаменаційного білета. Кожен білет містить чотири теоретичних питання, які оцінюються у **10 балів** кожне. Кожне запитання (завдання) оцінюється за такими критеріями:

- повна відповідь на запитання з елементами оригінального, творчого підходу до пояснення прийнятих рішень, обґрунтування цих рішень на основі демонстрації вмій залучати фундаментальні знання з хімії - 9-10 балів (не менше 90 % потрібної інформації);
- повна і взагалі вірна відповідь на запитання з 1–5 незначними помилками або зауваженнями - 7-8 балів (не менше 75 % потрібної інформації);

¹ Максимальна кількість балів, яку може набрати студент протягом 8 тижнів.

² Максимальна кількість балів, яку може набрати студент протягом 14 тижнів.

- взагалі вірна відповідь на запитання з 5–6 незначними помилками та 1–2 зауваженнями принципового характеру, пов'язаного з неповнотою знань з фундаментальних основ - 6 балів (не менше 60 % потрібної інформації);
- незадовільна відповідь – 0 балів.

Максимальна сума балів, яку студент може набрати протягом семестру, складає 80 балів:

$$RC = r_{др} + r_{презент} + r_{мкр} = 60 + 10 + 10 = 80 \text{ балів.}$$

Умовою допуску до екзамену є написання МКР, виконання лабораторних робіт та кількість рейтингових балів не менше 30.

Таблиця відповідності рейтингових балів оцінкам за університетською шкалою:

Кількість балів	Оцінка
100-95	Відмінно
94-85	Дуже добре
84-75	Добре
74-65	Задовільно
64-60	Достатньо
Менше 60	Незадовільно
Не виконані умови допуску	Не допущено

9. Додаткова інформація з дисципліни (освітнього компонента)

- Перелік завдань до МКР та для підготовки до екзамену наведені у Google Classroom «Моніторинг навколишнього повітряного середовища найновішими сенсорними системами» (платформа Sikorsky-distance).
- Перелік матеріалів, якими дозволено користуватись під час екзамену – під час екзамену студенту заборонено використовувати будь-які допоміжні матеріали та літературу. За порушення вимог студенти усуваються від екзамену.

Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):

Складено професором кафедри технології електрохімічних виробництв, д.т.н. Лінючевою Ольгою Володимирівною.

Ухвалено кафедрою технології електрохімічних виробництв (протокол № 14 від 16.05.2024)

Погоджено Методичною комісією ХТФ (протокол № 9 від 25.05.2024)