



МОНІТОРИНГ НАВКОЛИШНЬОГО ПОВІТРЯНОГО СЕРЕДОВИЩА НАЙНОВІШИМИ СЕНСОРНИМИ СИСТЕМАМИ

Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

1. 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>ОНП Хімічні технології та інженерія</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(лекційні заняття- 18 годин, практичні заняття- 18 годині, лабораторні заняття - 54 години, СРС -90годин)</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	Лектор: <i>д.т.н., професор Лінючева Ольга Володимирівна, omlin13@kpi.ua, Telegram @Linyucheva</i> Практичні заняття: <i>д.т.н., професор Лінючева Ольга Володимирівна, omlin13@kpi.ua, Telegram @Linyucheva</i> Лабораторні заняття: <i>к.т.н., старший викладач Кушмирук Андрій Іванович, kushmyruk.andrii@iil.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>

2. Програма освітнього компоненту

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

Проблема визначення ресурсу та екологічної безпеки технологічного обладнання для України особливо актуальна до умов сталого розвитку. На її території в атмосферу щорічно поступає біля 20 млн тон газових та пилових техногенних домішок. Це наслідок концентрації великої кількості підприємств хімічної, нафтопереробної, металургійної і енергетичної галузей та низької ефективності заходів із захисту довкілля. Україна насичена магістральними нафто-

газо- та продуктопроводами, загальна протяжність яких складає понад 40 тис. км. У цих умовах для об'єктивного визначення ефективності заходів із захисту довкілля від забруднення та стану технологічного обладнання необхідно володіти/створити систему моніторингу екологічного стану повітряного та водного середовищ для екологічної безпеки. 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 сформулювати у студента здатність розв'язувати складні задачі і проблеми хімічних технологій та інженерії або у процесі навчання/роботи на виробництві, що передбачає проведення досліджень та застосування певних технологічних заходів, або здійснення інновацій, що характеризується невизначеністю умов і вимог.

Предмет освітнього компоненту: сучасні сенсорні системи для моніторингу повітряного середовища як робочої так і санітарної зон; сучасні підходи до організації хіміко-технологічних процесів; діджиталізація моніторингу повітряного середовища; інновації та підприємництво.

Метою освітнього компоненту є надання знань фізико-хімічних основ сучасних засобів та методів моніторингу з урахуванням світових трендів та вмінь у розробці сучасних технологій створення новітніх сенсорних систем з використанням сучасних матеріалів та обладнання; поглиблення знань у галузі сучасних методів визначення концентрації забруднюючих речовин, зокрема, вольтамперометрії, потенціометрії та імпедансометрії; опанування знаннями та вміннями дозволить використовувати сучасні методи аналізу і електродні матеріали в сенсорних електрохімічних системах з урахуванням світових тенденцій та принципів кругової економіки та досліджувати фізико-хімічні основи сучасних методів визначення токсичних компонентів/полютантів в повітряному середовищі різного типу в лабораторних умовах.

Вивчення освітнього компоненту формує наступні спеціальні (фахові) компетентності: (ЗК 1) (ФК 1) Здатність досліджувати, класифікувати і аналізувати показники якості хімічної продукції, технологічних процесів і обладнання хімічних виробництв; (ФК 3) Здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел); (ФК10) (ФК11) Здатність планувати і виконувати наукові дослідження у галузі хімічної інженерії.

- **Вивчення освітнього компоненту формує наступні програмні результати навчання:** (ПРН 1) Критично осмислювати наукові концепції та сучасні теорії хімічних процесів та хімічної інженерії, застосовувати їх при проведенні наукових досліджень та створенні інновацій; (ПРН 8) Проводити інновації на виробництвах хіміко-технологічного профілю з акцентом на ресурсозбереження та екологічну безпеку; (ПРН 9) Знання сучасних методів дослідження, приладів та обладнань, програмного забезпечення в області хімічних технологій та інженерії; (ПРН 13) Вирішувати проблеми в області хімічної технології та інженерії як за стандартними підходами, так й власними оригінальними методиками

Пререквізити та постреквізити освітньої компоненти (місце в структурно-логічній схемі навчання за відповідною освітньою програмою)

Пререквізити: знання у хімічній технології та інженерії на бакалаврському рівні за спеціальністю 161 «Хімічні технології та інженерія», а саме, знання та уміння, що були отримані підчас вивчення ОК «Загальна та неорганічна хімія», «Фізика», «Аналітична хімія», «Фізична хімія», «Теоретична електрохімія», «Матеріалознавство», «Технічна електрохімія», «Загальна хімічна технологія», а також ОК, які базуються на результатах циклу професійної підготовки для вибору необхідних методів і засобів контролю хімічного складу досліджуваних об'єктів.

Постреквізити: набуті знання та вміння можуть знадобитися для вирішення проблем в сфері хімічних технологій та розробки технологічних показників одержання та практичного застосування нових речовин та функціональних матеріалів у технологіях по створенню сенсорних систем та моніторингу повітряного та водного середовищ.

4. Зміст освітньої компоненти

Розділ 1. Захист повітряного середовища від забруднення промисловими джерелами.

Тема 1.1 Класифікація методів та апаратів для знешкодження газових викидів. Забруднювачі атмосфери. Викиди в атмосферу та їх характеристики. Нормативні якості атмосферного повітря.

Тема 1.2. Особливості хіміко-технологічних та екозахисних процесів.

Характеристика екозахисних процесів; основні поняття, терміни, визначення. Класифікація екозахисних процесів. Схема екологічного чистого виробництва (замкнутий 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.

Розділ 2. Сучасні засоби моніторингу екологічної безпеки техногенних середовищ.

Тема 2.1 Хімічні сенсори та сенсорні системи.

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).

Тема 2.2 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.

Тема 2.3 Кондуктометричні, кулонометричні та вольтамперометричні сенсори. Кондуктометрія. Три типи комірок для вимірювання електропровідності. Кулонометрія. Кулонометричні сенсори, їх застосування. Вольтамперометрія та ХС на її основі.

Розділ 3. Електрохімічні сенсори амперометричного типу.

Тема 3.1 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.

Тема 3.2 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

Тема 3.3 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 термін, час реагування ($\tau_{0,5}$ та $\tau_{0,9}$);

селективність; зміна в часі фоновому 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.

Тема 3.4 Сучасні газові амперометричні сенсори для моніторингу повітря. Сенсори 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).

Розділ 4. Сенсори на основі твердих та матричних електролітів.

Тема 4.1 Сенсори на основі твердих електролітів. Поняття твердий протонний електроліт (квазітвердий). Схеми дво- та триелектродної комірок для сенсорів. Роль твердого електроліту для комірок сенсорів. Схема 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.

Тема 4.2 Твердотільні сенсорні системи з матричним електролітом. Поняття матричного електроліту. Метрологічні характеристики чутливих елементів сенсорів на основі електропровідної матриці.

Розділ 5. Уніфікована серії газових сенсорів новітнього покоління -інноваційна розробка КПІ ім.Ігоря Сікорського.

Тема 5.1 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).

Тема 5.2 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.

Розділ 6. Газоаналізатори та сенсорні для моніторингу повітряного середовища.

Тема 6.1 Портативні та стаціонарні газоаналізатори; багатоканальні газоаналізатори; газоаналізатори для оптимізації процесів горіння полива.

Тема 6.2 Безеталонний метод визначення домішок у повітрі системою сенсорів уніфікованої серії КПІ ім. Ігоря Сікорського.

5. Навчальні матеріали та ресурси

Навчальні матеріали, зазначені нижче, доступні у бібліотеці університету, у бібліотеці кафедри технології електрохімічних виробництв за посиланням <https://classroom.google.com/c/NzM1OTU3NjQzMTEEx?cjc=xqwb6uod>. Обов'язковою до вивчення є базова література, інші матеріали – факультативні. Розділи та теми, з якими ЗВО має ознайомитись самостійно, викладач зазначає на лекційних, практичних та лабораторних заняттях.

Базова:

1. 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. ISBN 978-82-999978-3-7. (розміщено в бібліотеці (текстовий варіант) читати повністю).

2. Bănică F.G. *Chemical Sensors and Biosensors: Fundamentals and Applications*. – John Wiley & Sons, Ltd, Chichester, UK., 2012. 580p. DOI: 10.1002/9781118354162
3. *Progresses in Chemical Sensor*. / Wang W. (Ed.). – IntechOpen, 2016. – 190 p. DOI: 10.5772/61376
4. 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.
5. Janata J. *Principles of chemical sensors*. – Springer Science & Business Media., 2010. – 382 p. – DOI: 10.1007/978-0-387-69931-8.
6. Лінючева О.В., Букет О.І., Кушмирук А.І., Косогін О.В., Лінючев О.Г. *Перехідні процеси та електрокінетичні явища в газодифузійних електродах сенсорних систем*. Монографія. Київ, Інтерсервіс, 2017, 142 с. ISBN 978-617-696-658-6. (розміщено в бібліотеці (текстовий варіант) читати повністю).
7. Лінючева О.В., Букет О.І., Лінючев О.Г. *Перехідні процеси та явища в сенсорних системах*. Монографія. Київ, Інтерсервіс, 2023, 147 с. ISBN 978-617-696-658-7. (розміщено в бібліотеці (текстовий варіант) читати повністю).

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

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**.

6. Навчальний контент

7. Методика опанування освітнього компоненту

Лекційні заняття

Вичитування лекцій з освітнього компоненту проводиться паралельно з виконанням студентами лабораторних робіт та розглядом ними питань, що виносяться на практичні заняття і самостійну роботу. Після кожної лекції рекомендується ознайомитись з матеріалами, рекомендованими для самостійного вивчення, а перед наступною лекцією – повторити матеріал попередньої.

№ з/п	Опис заняття
1	<p><u>Захист повітряного середовища від забруднення промисловими джерелами</u></p> <p>Тема 1.1. Класифікація методів та апаратів для знешкодження газових викидів.</p> <p><u>Основні питання:</u> Забруднювачі атмосфери. Викиди в атмосферу та їх характеристики. Нормативні показники якості атмосферного повітря.</p>
2	<p><u>Розділ 2. Особливості хіміко-технологічних та екозахисних процесів</u></p> <p>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></p> <p>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).</p>
4	<p><u>Електрохімічні сенсори. Потенціометричні, кондуктометричні, кулонометричні та вольтамперометричні сенсори</u></p> <p>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></p> <p>4.1. Кінетика електродних процесів в амперометричних сенсорах. Види перенапруги. Рівняння Тафеля. Масоперенос реагуючих речовин в умовах перебігу реакції за трьома</p>

	<p>механізмами: молекулярної дифузії, конвекції та міграції. Залежність сили струму, перенапруги при електрохімічній, концентраційній та загальній перенапругах.</p> <p>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>4.2. 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 електроді 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>5.1. Сенсори на основі твердих електролітів. Поняття твердий протонний електроліт (квазітвердий). Схеми дво- та триелектродної комірок для сенсорів. Роль твердого електроліту для комірок сенсорів. Схема структури робочого електроду та модель газової пари з трифазовою межею поділу. Потенціодинамічні криві (поляризаційні) у повітряному середовищі. E/X поведінка та корозійна стійкість каталітично активних матеріалів у повітряному середовищі.</p> <p>5.2. Твердотільні сенсорні системи з матричним електролітом. Поняття матричного електроліту. Метрологічні характеристики чутливих елементів сенсорів на основі електропровідної матриці.</p>
8	<p><u>Тема 6. Уніфікована серія твердо тільних газових сенсорів новітнього покоління</u></p> <p>6.1. 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>6.2. 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.</p> <p>6.3. 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 7. 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. Безеталонний метод визначення домішок у повітрі системою сенсорів уніфікованої серії КПІ ім. Ігоря Сікорського.</p>
---	---

Практичні заняття

Основні завдання практичних занять - це ознайомлення та глибинне вивчення тем, які викладалися стисло або не викладалися на лекціях, та ознайомлення з технічною реалізацією відомих з лекційного курсу процесів та закріплення цього теоретичного матеріалу з підготовкою представленими презентаціями.

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 сенсоры, 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 сенсоры. 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 сенсоры.
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. Системы 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.

Заняття	Тема	Опис запланованої роботи
1,2	<p><u>Тема 4.1 Електрохімічні сенсори амперометричного типу</u></p> <p>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</p>	<p><u>Мета:</u> Визначити вплив природи електрокаталізатора на величину вихідного сигналу та селективність електрохімічних сенсорів діоксиду сульфуру (розробки хіміко-технологічного факультету КПІ ім. Ігоря Сікорського) для моніторингу повітряного середовища.</p>
3		<p>Захист роботи.</p>
4,5	<p><u>Тема 4.2. 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><u>Мета:</u> Визначення вихідних характеристик електрохімічних сенсорів амперометричного типу для визначення вмісту спирту в повітряному середовищі (розробки хіміко-технологічного факультету КПІ ім. Ігоря Сікорського).</p>
6		<p>Захист роботи.</p>
7,8	<p><u>Тема 6.3. Калібрування сенсорів на галогени. Кулонометричні стаціонарні дозатори газових сумішей, його технічні характеристики. Мікрогенератор Cl_2.</u></p>	<p><u>Мета:</u> Визначення концентрації газового компонента непрямою кулонометриєю з використанням методу двох амперометричних сенсорів.</p>
9	<p>Сенсорний блок (сенсор + генератор Cl_2).</p>	<p>Захист роботи.</p>

10,11	Тема 3. Сучасні засоби моніторингу екологічної безпеки техногенних середовищ	<i>Мета:</i> Визначення вмісту кисню та перекису водню у воді з використанням вольтамперометричних сенсорів.
12	3.1. Хімічні сенсори. Електрохімічні сенсори (потенціометричні та вольтамперометричні).	Захист роботи.
13,14	Тема 3.2. Електрохімічні сенсори. Потенціометричні, кондуктометричні, кулонометричні та вольтамперометричні сенсори. <i>Потенціометричні сенсори. Потенціал електроду. Рівняння рівноваги потенціалу за Нернстом. Електроди I і II роду. Газові електроди. Інертні електроди. Сурм'яний електрод. Сенсори на основі діоксиду цирконію.</i>	<i>Мета:</i> Визначення концентрації компонента розчину потенціометричним методом.
15		Захист роботи.
16,17	<u>Тема 3. Електрохімічні сенсори. Потенціометричні, кондуктометричні, кулонометричні та вольтамперометричні сенсори.</u>	<i>Мета:</i> Визначення технічних характеристик кулонометричного генератора хлору та його застосування для калібрування новітніх сенсорних систем по визначенню хлору, озону, діоксиду хлору.
18	3.3. Кондуктометричні, кулонометричні та вольтамперометричні сенсори. і. Кулонометрія. Кулонометричні сенсори, їх застосування.	Захист роботи.

8.

9. Самостійна робота студента/аспіранта

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

Вид СПС	Кількість годин на підготовку
Підготовка до аудиторних занять: повторення лекційного матеріалу; проведення розрахунків та оформлення звітів з лабораторних робіт; підготовка до проведення практичних завдань та виконання розрахунків	2 - 3 години на тиждень Всього 36
Підготовка до модульної контрольної роботи	4 годин
ДКР	20 годин
Екзамен (підготовка та складання)	30 годин
Всього на СПС	90 годин

10. Модульна контрольна робота (МКР)

Виконання МКР передбачає написання. На виконання тесту передбачено 1 лекційне заняття, після цього часу надіслати заповнену форму буде неможливо, тобто автоматично МКР буде оцінено в 0 балів.

11. Політика та контроль

12. Політика навчальної освітньої компоненти

Складові рейтингу студента з освітнього даного компоненту:

- 1) проведення експрес-опитування (Google Forms та menti.com) на лекціях;
- 2) виконання та захист 6 лабораторних робіт.
- 3) написання МКР.
- 4) виконання ДКР.
- 5) відповідь на екзамені.

У звичайному режимі роботи університету лекції та лабораторні роботи проводяться в навчальних аудиторіях факультету, сертифікованій наукових лабораторіях прикладної електротехніки та сенсорних систем КПІ ім. Ігоря Сікорського. У змішаному режимі лекційні заняття проводяться через платформу дистанційного навчання Сікорський, лабораторні роботи – у лабораторіях. У дистанційному режимі всі заняття проводяться через платформу дистанційного навчання Сікорський. Виконання лабораторних робіт та їх захист, написання МКР та виконання ДКР є обов'язковою складовою допуску до екзамену.

На початку кожної лекції проводиться опитування за матеріалами попередньої лекції із застосуванням інтерактивних засобів (Google Forms та menti.com). Перед початком чергової теми лектор може надсилати питання із застосуванням інтерактивних засобів з метою визначення рівня обізнаності здобувачів за даною темою та підвищення зацікавленості.

Система вимог, які викладач ставить перед студентом:

Правила захисту лабораторних робіт:

1. 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).
2. 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 поведінки на заняттях: студент має можливість отримувати бали за відповідні види навчальної активності на лекційних заняттях, які передбачені РСО, обов'язковими складовими є виконання та захист усіх лабораторних робіт та отримання позитивної оцінки за ДКР, яка має складати не менше 60% від зазначеного в РСО;
- політика дедлайнів та перескладань: визначається п. 8 Положення про поточний, календарний та семестровий контроль результатів навчання в КПІ ім. Ігоря Сікорського, перескладання результатів МКР не передбачено; для допуску до екзамену мають бути виконані і захищені 6 лабораторних робіт та отримано позитивну оцінку за ДКР;

- при використанні цифрових засобів зв'язку з викладачем (мобільний зв'язок, електронна пошта, переписка в телеграм чатах) необхідно дотримуватись загальноприйнятих етичних норм, зокрема бути ввічливим та обмежувати спілкування робочим часом викладача;
- правила призначення заохочувальних балів: повні відповіді на лекції; активна робота на практичних заняттях; креативне виконання ДКР;
- політика щодо академічної доброчесності: визначається політикою академічної чесності та іншими положеннями Кодексу честі університету.

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

Види контролю встановлюються відповідно до Положення про поточний та семестровий контроль результатів навчання в КПІ ім. Ігоря Сікорського:

1. Поточний контроль: опитування на лекційних заняттях, захист лабораторних робіт та оформлення усіх протоколів, написання МКР, виконання ДКР (позитивна оцінка, яка має бути не менше 60% від зазначеного в PCO).
2. Календарний контроль: проводиться двічі на семестр (атестація 1 та атестація 2) як моніторинг поточного стану виконання вимог силябусу.
3. Семестровий контроль: екзамен.

Рейтингова система оцінювання результатів навчання

1. Рейтинг студента з освітньої компоненти розраховується виходячи із 100-бальної шкали, з них 50 бали складає стартова шкала. Стартовий рейтинг (протягом семестру) складається з балів, що студент отримує за:

1. Експрес-опитування на лекціях:

Ваговий бал експрес-опитування – 0,5. Максимальна кількість балів, які може отримати студент на лекціях може дорівнювати 10 балів.

2 Робота під час лабораторних робіт:

Максимальна кількість балів на усіх лабораторних заняттях дорівнює: 18 бал. Лабораторна робота оцінюється в три етапи:

- допуск до лабораторної роботи;
- виконання лабораторної роботи;
- захист лабораторної роботи.

Загалом за лабораторну роботу можливо отримати 3 бали. Кількість лабораторних робіт – 6. Останні заняття на відпрацювання лабораторних робіт (не більше 2х), які не були виконані за графіком (за умови наявності поважних причин) та оформлення звіту з лабораторних робіт.

Критерії оцінювання:

Допуск до лабораторної роботи:

1 бал: наявність протоколу лабораторної роботи з усіма необхідними розділами, безпомилкові відповіді на запитання викладача стосовно мети роботи, фізико-хімічних основ процесу, схеми лабораторної установки, порядку проведення роботи, техніки безпеки під час виконання роботи;

0,8 бала: наявність протоколу з незначними недоліками, вірні в цілому відповіді на запитання викладача з незначними недоліками;

0,6 бала: вірні відповіді на запитання після допомоги викладача або неповний протокол, який підлягає доповненню;

0 балів: відповіді на завдання викладача з помилками принципового характеру;

Виконання лабораторної роботи:

1 бал: чітке, самостійне виконання лабораторної роботи, правильні основні та допоміжні розрахунки, отримання правильних результатів, здача лабораторного місця навчально-допоміжному персоналу;

0,8 бала: вірне в цілому виконання з незначними недоліками в оформленні, або помилковим виконанням окремих елементів роботи, здача лабораторного місця навчально-допоміжному персоналу;

0,6 бала: вірне виконання роботи після допомоги викладача або проведення роботи зі значущими помилками, які підлягають виправленню;

0 балів: неповне виконання лабораторної роботи або проведення роботи з грубими помилками, що не підлягають виправленню, а потребують переробки;

Захист лабораторної роботи:

1 бал: охайно оформлений протокол лабораторної роботи з чіткими результатами експерименту та висновками, безпомилкові відповіді на контрольні запитання до лабораторної роботи;

0,8 бала: наявність протоколу з незначними недоліками, вірні в цілому відповіді на контрольні запитання з незначними невідповідностями;

0,6 бала: вірні відповіді на контрольні запитання після навідної допомоги викладача або неповністю оформлений протокол (нечіткі висновки, відсутність деяких розрахунків), який підлягає доповненню;

0 балів: неповні відповіді на контрольні запитання або неповний протокол, який підлягає доповненню.

3. Модульна контрольна робота (МКР)

Ваговий бал: 12. Критерії оцінювання МКР:

Кожне завдання на МКР складається з 3 питань теоретичного характеру (ваговий бал 4). Кількість балів за МКР розраховується як сума балів за кожне питання. Оцінювання проводиться за наступною шкалою:

4 бали: бездоганна відповідь на завдання при наявності елементів продуктивного (творчого) підходу; демонстрація вміння впевненого застосування фундаментальних знань з хімії при відповіді на контрольне завдання;

3 бали: наявність 1 незначної, непринципової помилки при відповіді на контрольне завдання ;

0 балів: наявність принципових помилок при відповіді на контрольне завдання.

На написання МКР передбачено останнє лекційне заняття, після цього часу надіслати відповідь на запитання буде неможливо, тобто автоматично МКР буде оцінено в 0 балів.

4. Домашня контрольна робота (ДКР) - ваговий бал – 10.

ДКР – презентація має бути подана у встановлений термін, проходить публічну апробацію/захист перед колективом своєї студентської групи. При поданні ДКР на перевірку після закінчення семестру, студент не буде допущений до семестрового контрольного заходу, оскільки ДКР є обов'язковою складовою допуску. Оцінювання проводиться за наступною шкалою:

10 балів: охайно оформлена презентація ДКР з чіткими результатами експерименту та висновками, безпомилкові відповіді на контрольні запитання під час захисту ДКР.

9 балів: охайно оформлена презентація ДКР з чіткими результатами експерименту та висновками, на 85% безпомилкові відповіді на контрольні запитання під час захисту ДКР

8 балів: охайно оформлена презентація ДКР з чіткими результатами експерименту та висновками, на 75% безпомилкові відповіді на контрольні запитання під час захисту ДКР

7 балів: оформлена презентація ДКР з чіткими результатами експерименту та висновками, на 65% безпомилкові відповіді на контрольні запитання під час захисту ДКР

6 балів: оформлена презентація ДКР з чіткими результатами експерименту та висновками, на 60% безпомилкові відповіді на контрольні запитання під час захисту ДКР

0 балів: неповне розкриття теми ДКР, помилкові відповіді на запитання при захисті ДКР; менше ніж на 60% безпомилкові відповіді на контрольні запитання під час захисту ДКР

Календарний контроль студентів

Календарний контроль студентів проводиться за значеннями поточного рейтингу студентів. Умова задовільного календарного контролю – рейтинг студента 50 % від максимально можливого на час проведення календарного контролю.

Перший календарний контроль (8 тиждень)

Максимально можливий рейтинг –10 балів. Для отримання «атестовано» студент повинен мати не менше ніж 5 балів.

Другий календарний контроль (14 тиждень)

Максимально можливий рейтинг – 20 балів. Для отримання «атестовано» студент повинен мати не менше ніж 10 балів.

Розрахунок шкали рейтингової оцінки з освітнього компоненту (RD):

Сума вагових балів контрольних заходів (Rc) протягом семестру складає:

$$R'C = \sum rk + \sum rs = 10 + 18 + 12 + 10 + \sum rs = 50 \text{ балів} + \sum rs;$$

$$RC = \sum rk = 50 \text{ балів.}$$

Екзаменаційна складова (RE) шкали дорівнює 50% від RD:

$$RE = 0,5 \times RC / (1 - 0,5) = 0,5 \times 50 / (1 - 0,5) = 50 \text{ балів.}$$

Таким чином, рейтингова шкала з освітньої компоненти складає

$$RD = RC + RE = 50 + 50 = 100 \text{ балів.}$$

Розмір шкали рейтингу R = 100 балів.

Розмір стартової шкали RC = 50 балів.

Розмір екзаменаційної шкали RE = 50 балів.

Критерії екзаменаційного оцінювання:

В екзаменаційному білеті передбачено 3 питання, перші два – теоретичні, кожне з яких оцінюється у 15 балів, а питання 3, в якому потрібно надати обґрунтування використання сенсорних систем для моніторингу повітряного середовища різними токсичними речовинами, компонентами, оцінюється у 20 балів.

Оцінювання 1го, 2го та 3го питань:

15 (20) балів: повна і безпомилкова відповідь при наявності елементів продуктивного творчого підходу; демонстрація вміння впевненого застосування фундаментальних і фахових знань, бездоганне обґрунтування цієї відповіді;

14-13 (19-17) балів: достатньо повна і взагалі вірна відповідь з 94%-85% розкриттям питання, відповідь ґрунтується тільки на матеріалах лекцій;

12-11 (16-14) балів: взагалі вірна, але недостатньо повна та обґрунтована відповідь на запитання, з 84% - 75% розкриттям питання;

10 (13) балів: взагалі вірна, але недостатньо повна відповідь на запитання зі помилками та зауваженнями принципового характеру, з 74% - 65% розкриттям питання з двома – трьома суттєвими помилками;

9 (12) балів: взагалі вірна, але не повна відповідь на запитання зі значними помилками та зауваженнями принципового характеру, з 64% - 60% розкриттям питання.

Відповідно до «Положення про організацію навчального процесу в КПІ ім. Ігоря Сікорського», необхідними умовами допуску до екзамену є написання МКР, виконання і зарахування всіх лабораторних робіт, отримання позитивної оцінки за ДКР (яка має бути не менше 60% від зазначеного в PCO, тобто 6 балів), а також стартовий рейтинг (rc) не менше 60% від RC, тобто $rc = 0,6 RC = 0,6 \times 50 = 30$ балів.

Таблиця відповідності рейтингових балів оцінкам за університетською шкалою:

Кількість балів	Оцінка
-----------------	--------

<i>100-95</i>	<i>Відмінно</i>
<i>94-85</i>	<i>Дуже добре</i>
<i>84-75</i>	<i>Добре</i>
<i>74-65</i>	<i>Задовільно</i>
<i>64-60</i>	<i>Достатньо</i>
<i>Менше 60</i>	<i>Незадовільно</i>
<i>Не виконані умови допуску</i>	<i>Не допущено</i>

Силабус освітнього компоненту складено професором кафедри технології електрохімічних виробництв

д.т.н., проф. Лінючевою Ольгою Володимирівною.

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

***Погоджено** Методичною комісією ХТФ (протокол № 9 від 25.05.2024 р.)*