



Моделювання електрохімічних методів і систем

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>Електрохімічні технології неорганічних і органічних матеріалів</i>
Статус дисципліни	<i>Нормативна</i>
Форма навчання	<i>очна(денна)</i>
Рік підготовки, семестр	<i>2 курс, осінній</i>
Обсяг дисципліни	<i>4 кредити</i>
Семестровий контроль/ контрольні заходи	<i>Екзамен</i>
Розклад занять	<i>Лекція 2 години на тиждень, практичні заняття 2 години раз на два тижні за розкладом на rozklad.kpi.ua</i>
Мова викладання	<i>Українська</i>
Інформація про керівника курсу / викладачів	Лектор: к.т.н., асистент, Ущачовський Дмитро Юрійович, ushchapovskyi.dmytro@lll.kpi.ua
Розміщення курсу	Google Classroom (Google G Suite for Education, домен LLL.kpi.ua, платформа Sikorsky-distance); доступ за запрошенням викладача https://classroom.google.com/c/MzgXMzc0MzMxNTM4?cjc=sb2o5b5

Програма навчальної дисципліни

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

«Моделювання електрохімічних методів і систем» як дисципліна являє собою систему теоретичних положень і практичних навичок, що дозволять майбутньому науковцю (чи спеціалісту) ознайомитись з комп'ютерно-інтегрованими методами дослідження та встановлення механізму і кінетичних закономірностей електрохімічних процесів. Вивчення даної дисципліни дозволить значно скоротити витрати часу та коштів на проведення досліджень різноманітних електрохімічних систем. Ця дисципліна дає можливість оцінити доцільність впровадження у заданих умовах певних методичних навичок, нового технологічного оснащення та обладнання для проведення тих чи інших електрохімічних експериментальних та теоретичних досліджень у професійній діяльності. В цьому курсі широко використовуються математичні методи та розгляд окремих математичних моделей електродних процесів та електрохімічних систем в цілому з включенням як кількісних, так і якісних факторів.

Предмет дисципліни: вивчення методів моделювання та дослідження електрохімічних систем.

Метою дисципліни є формування у студентів здатностей:

- Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях. ЗК1.
- Здатність продемонструвати знання і розуміння основних фактів, концепцій, принципів і теорій, що належать до хімічної технології та інженерії. ФК1.
- Здатність використовувати методи спостереження, опису, ідентифікації, класифікації об'єктів хімічної технології та промислової продукції. ФК2.
- Здатність використовувати знання та розуміння загальної хімічної технології, процесів і апаратів хімічних виробництв для аналізу, оцінювання і проектування технологічних процесів і устаткування. ФК 4.
- Здатність обробляти та інтерпретувати дані, що належать до хімічної технології та інженерії, співвідносити їх з відповідними теоріями. ФК5.
- Володіння методами спостереження, опису, ідентифікації, класифікації, об'єктів електрохімічної технології та продукції промисловості. КЗП-2.
- Здатність застосовувати сучасні експериментальні методи роботи з технологічними об'єктами електрохімії в промислових і лабораторних умовах, навички роботи із сучасною вимірною апаратурою. КЗП-6.
- Здатність використовувати професійно профільовані знання в галузі математики (математичної статистики) для статистичної обробки експериментальних даних і математичного моделювання хімічних і хіміко-технологічних процесів. КСП-1.
- Здатність використовувати математичний апарат для освоєння теоретичних основ і практичного використання методів фізико-хімічних і електрохімічних досліджень. КСП-2.

Після засвоєння навчальної дисципліни студенти мають продемонструвати такі результати навчання:

знання:

- стаціонарні та нестаціонарні експериментальні методи дослідження та аналізу кінетики електрохімічних процесів (хронопотенціометрія, хроноамперометрія, корозіометрія та інші) та засоби одержання коректної та відтвореної первинної інформації про електродні процеси;
- вимоги, що пропонувані до техніки виконання електрохімічного експерименту, способам підготовки і різновидам електролітів і електродів, електрохімічним коміркам;
- можливості і границі застосування того чи іншого методу для дослідження електрохімічних систем і процесів;
- методів обчислення основних кінетичних параметрів процесів, які піддаються дослідженню;
- методів моделювання математичного та комп'ютерного моделювання електрохімічних систем та методів їх дослідження;

уміння:

- вибрати та обґрунтувати конструкцію електрохімічної комірки, матеріал та форму електродів, передбачити засоби, які гарантують відтворення експериментальних результатів;
- вибирати найбільш простий, але в той же час найбільш інформативний метод дослідження, який дає змогу розв'язати поставлену задачу;
- обґрунтовано вибирати найбільш доцільні вимірні прилади та інше устаткування;

- проводити дослідження електродних процесів стаціонарними та нестаціонарними розглянутими методами;
- аналізувати результати класичних та релаксаційних методів дослідження, робити необхідні висновки та формулювати пропозиції;
- за допомогою основних параметрів, здійснювати математичне та комп'ютерне моделювання електрохімічних методів та систем
- представляти отримані в дослідженнях результати у вигляді звітів і наукових публікацій (презентації, стендові доповіді, реферати та статті в періодичній науковій літературі;

досвід:

- на основі результатів наукового дослідження вибирати та обґрунтувати прийоми та засоби, за допомогою яких можна цілеспрямовано впливати на хід та параметри електролізу, електродних процесів різного практичного призначення, корозійних процесів у різних технологічних середовищах;
- математичного та комп'ютерного моделювання електрохімічних систем.

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

Зазначається перелік дисциплін, знань та умінь, володіння якими необхідні студенту для успішного засвоєння дисципліни:

Теоретична електрохімія	Термодинамічні характеристики електрохімічних систем. Електродні потенціали. Види перенапруги. Кінетичні параметри електродних процесів.
Основи процесів осадження і розчинення металів	Теорія електрохімічної кристалізації металів. Вплив складу розчину та режиму електролізу на структуру та властивості осадів металів.
Теорія корозії та захист металів	Кінетичні та термодинамічні характеристики корозійних систем та процесів
Чисельні методи в хімії і хімічній технології	Числові методи вирішення диференціальних рівнянь

Дана дисципліна входить до заключної ланки підготовки студентів магістрів і може бути корисною для

3. Зміст навчальної дисципліни

Тема 1. Загальні відомості про електрохімічні методи досліджень

Мета, завдання і можливості методів дослідження електрохімічних систем і процесів. Класифікація методів електрохімічних досліджень.

Огляд методів дослідження в електрохімії і корозії металів. Загальні вимоги до методів дослідження. Загальна характеристика та можливості методів щодо визначення максимальних та мінімальних значень кінетичних параметрів.

Тема 2. Характеристика методів і приладів дослідження

Стаціонарні методи дослідження. Інформативність та можливості кожного з методів. Устаткування, що застосовується у стаціонарних методах.

Нестационарні методи дослідження. Хронопотенціометрія, хроноамперометрія, циклічна вольтамперометрія, методи зміннострумового імпедансу. Устаткування, що застосовується у нестационарних методах.

Тема 3. Методи моделювання електрохімічних систем та процесів

Застосування диференціальних рівнянь для опису основних електрохімічних закономірностей та розподілу електричних полів. Чисельні різницеві методи вирішення диференціальних рівнянь. Застосування програмного забезпечення для моделювання електрохімічних методів та систем. Моделювання електрохімічних систем з використанням програмного пакету COMSOL Multiphysics.

Тема 4. Приклади модельних досліджень електрохімічних методів та систем

Моделювання та дослідження електролізерів. Моделювання гальванічної комірки із розчинними анодами. Моделювання гальванічної комірки із нерозчинними анодами. Моделювання процесу електроосадження металу на поверхні мікропрофільованого катода. Моделювання методів дослідження розсіювальної здатності електролітів (комірка Хула, комірка Молера).

Моделювання корозійних систем. Моделювання катодного захисту у водних середовищах. Моделювання катодного захисту у ґрунті та бетоні. Моделювання протекторного захисту.

Моделювання хімічних джерел живлення. Моделювання літій іонних джерел живлення. Моделювання свинцевого акумулятора. Моделювання паливного елемента. Моделювання високотемпературних джерел живлення.

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. Антропов Л.І. Теоретична електрохімія. – Київ: Либідь, 1993. - 568 с.
2. Электроаналитические методы. Теория и практика / Под.ред. Ф.Шольца. Пер. с англ. В.Н. Майстренко – М.: БИНОМ, Лаборатория знаний, 2006. – 326 с.
3. Хенце Г. Полярография и вольтамперометрия. Теоретические основы и аналитическая практика / Г. Хенце; пер. с нем. А.В. Гармаша, А.И. Каменева. – М.: БИНОМ, Лаборатория знаний, 2010. – 284 с.
4. Миомандр Ф., Садки С., Одебер П., Меалл Рено Р. Электрохимия. – М.: Техносфера, 2008 – 360 с.
5. Дамаскин Б.Б., Петрий О.А., Цирлина Г.А. Электрохимия. – М.: Химия, КолосС – 2006. – 672 с.

6. Галюс З. Теоретические основы электрохимического анализа. Пер. с польск. - М.: Мир, 1974. - 552 с.
7. Дамаскин Б.Б., Петрий О.А. Введение в электрохимическую кинетику. – М.: Высшая школа, 1975. – 416 с.
8. Городынский А.В. Вольтамперометрия (стационарный электролиз). – Киев: Наук. Думка, 1986. – 204 с.
9. Коваленко А.В., Узденова А.М., Уртенев М.Х., Никоненко В.В. Математическое моделирование физико-химических процессов в среде Comsol Multiphysics 5.2. - Санкт-Петербург: Лань, 2021. – 228 с.
10. Гумеров А. М. Математическое моделирование химико-технологических процессов. 2-е изд., перераб. - Санкт-Петербург: Лань, 2014. – 176 с.

Додаткова:

1. Введение в COMSOL Multiphysics/ Интернет ресурс. Режим доступа: <https://www.comsol.ru/documentation>.
2. Васильев, Георгій Степанович. Розвиток методу поляризаційного опору та побудова на його основі приладів корозійного контролю [Текст] : монографія / Г. С. Васильєв, Ю. С. Герасименко, 2019. - 289 с.
3. Флеров В.Н., Исаев И.В. Основные приборы и методы исследования электродных процессов.- Горький: Изд-во Горьковск. политехн. ин-та, 1988.-122с.
4. Ткаленко Д.А., Ткаленко М.Д. Основи наукових досліджень в електрохімії. Хронопотенціометричний метод дослідження електродних процесів (частина 2). / Посібник для студентів НТУУ “КПІ”, 1997 р. – 96 с.
5. Мансфельд Ф. Определение тока коррозии методом поляризационного сопротивления // Достижения науки о коррозии и технологии защиты от нее. Под ред. М.Фонтана, Р. Стэйл.Т.6 - М.: Металлургия.- 1980.- С.180-265.
6. Ньюмен Дж. Электрохимические системы. – М.: Мир, 1977. – 463 с.
7. Городынский А.В. Вольтамперометрия. Кинетика стационарных электродных процессов.- Киев: Наукова думка, -1988. – 172 с.
8. Делимарский Ю.К., Городынский А.В. Электродные процессы и методы исследования в полярографии. Изд-во академии наук УССР.- Киев, 1960. – 294 с.
9. Электроаналитические методы в контроле окружающей среды / Калывода Р., Зыка Я., Штулик К. и др. Пер с англ. – М.: Химия, 1990.- 240 с.
10. Выдра Ф., Штулик К., Юлакова Э. Инверсионная вольтамперометрия. – М.: Мир, 1980.- 278 с.
11. Чвірук В.П., Поляков С.Г., Герасименко Ю.С. Електрохімічний моніторинг техногенних середовищ. – Київ: Академперіодика, 2007. – 322 с.
12. Новицкий В.С., Писчик Л.М. Коррозионный контроль технологического оборудования. – Киев: Наукова думка. – 2001. – 171 с.
13. Справочник по электрохимии / Под ред. А.М.Сухотина.- Л.: Химия.- 1981.- 488 с.
14. Выдра Ф., Штулик К., Юлакова Э. Инверсионная вольтамперометрия.- М.: Мир.- 1980.- 279 с.

Інформаційні ресурси:

17. 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 **sb2o5b5**.

5. Методика опанування навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Лекційні заняття

При читанні лекцій застосовуються засоби для відеоконференцій (Google Meet, Zoom тощо) та ілюстративний матеріал у вигляді презентацій, які розміщені на платформі Sikorsky-distance [17]. Після кожної лекції рекомендується ознайомитись з матеріалами, рекомендованими для самостійного вивчення, а перед наступною лекцією – повторити матеріал попередньої. На кожній лекції крім першої та двох останніх проводиться опитування студентів у вигляді, за матеріалом прочитаних лекцій.

№	Дата	Опис заняття
1	1 – 3 вересня 2021 р.	Тема 1. Мета, завдання і можливості методів дослідження електрохімічних систем і процесів. Класифікація методів електрохімічних досліджень. Методи вивчення статистики і кінетики електродних процесів. Класичні та релаксаційні методи. Стаціонарний та нестаціонарний стани ПЕШ. Джерела інформації та основна вітчизняна та іноземна наукова література з питань теоретичної електрохімії та методів електрохімічного аналізу. Бібліографічні каталоги і порядок їх використання. Реферативні журнали. Оформлення посилань на літературу, яка використовується при написанні звітів, рефератів, курсових та дипломних робіт.
2	6 – 10 вересня 2021 р.	Продовження теми 1. Загальні вимоги до методів дослідження. Огляд методів дослідження в електрохімії і корозії металів. Загальна характеристика та можливості методів щодо визначення максимальних та мінімальних значень кінетичних параметрів. Стадії електрохімічних процесів. Умови зворотності, квазізворотності, незворотності електрохімічних процесів.
3	13 – 17 вересня 2021 р.	Тема 2. Стаціонарні методи дослідження в електрохімії. Класична вольт-амперометрія: Загальне рівняння поляризаційної кривої, визначення кінетичних параметрів реакцій і умов уповільненої стадії розряду-іонізації, стадії дифузії деполяризатора, пасивації поверхні. Метод поляризаційних діаграм, метод поляризаційного опору. Інформативність та можливості кожного з методів, їх переваги та недоліки. Найпростіші електричні схеми для гальваностатичної та потенціостатичної поляризації. Прибори та устаткування для реалізації кожного з методів.
4	20 – 24 вересня 2021 р.	Продовження теми 2. Класична полярографія. Принципова блок-схема. Рівняння Ільковича. Якісні та кількісні параметри. Потенціали напівхвилі. Полярографічні максимуми. Фарадеевський та ємнісний струми. Методи підвищення чутливості полярографії. Диференційна (похідна), різницева та інверсійна полярографія. Зміннострумова та імпульсна полярографія.
5	27 вересня 2021 р. – 1 жовтня 2021 р.	Продовження теми 2. Визначення кінетичних параметрів електрохімічних процесів для різних середовищ стаціонарними методами. Постійні Тафеля,

		коефіцієнти переносу для стадійних процесів, стехіометричне число, порядок реакції. Визначення енергії активації електрохімічного процесу.
6	4 – 8 жовтня 2021 р.	Продовження теми 2. Загальні принципи вольт-амперних вимірювань. Типові схеми для проведення вольтамперних вимірювань. Вигляд і аналіз хроноамперограми при нестационарній дифузії реагенту до електрода (рівняння Котрелла). I , τ – залежність при уповільненій стадії переносу заряду. Діагностичний критерій незворотного процесу. Переваги та обмеження хроноамперометричного метода.
7	11 – 15 жовтня 2021 р.	Продовження теми 2. Характер зміни параметру, що управляється і вигляд циклічної вольтамперограми. Якісний опис явищ, що відбуваються на електроді при зміні потенціалу. Фактори, що впливають на вигляд амперограми. Рівняння Рендлса-Шевчика для максимального струму і його аналіз (вплив швидкості розгортки потенціалу, концентрації реагуючої речовини та ін.).
8	18 – 22 жовтня 2021 р.	Продовження теми 2. Характеристичні параметри циклічної вольтамперограми і їх визначення. Хроновольтамперограма електрохімічної системи, що контролюється переносом заряду. Відмінність максимального струму для зворотної та незворотної реакцій. Характеристичні потенціали для зворотних і незворотних процесів. Діагностичні критерії вольтамперограм.
9	25 – 29 жовтня 2021 р.	Продовження теми 2. Методи моніторингу корозійного середовища. Метод поляризаційного опору.
10	1 – 5 листопада 2021 р.	Продовження теми 2. Методи зміннострумового імпедансу. Розгляд основних еквівалентних схем та теоретичних рівнянь електрохімічних процесів з кінетичним, дифузійним, дифузійно-кінетичним, адсорбційним контролем.
11	8 – 12 листопада 2021 р.	Тема 3. Математичні моделі процесів масоперенесення в електрохімічних системах. Рівняння стаціонарної та нестационарної дифузії. Явища придобної та вимушеної конвекції, стратифікація електроліту. Первинний, вторинний та третинний розподіли густини струму у між електродному просторі електролізера. Розподіл електричного поля у між електродному просторі електролізера. Вирішення рівняння Лапласа числовими методами.
12	15 – 19 листопада 2021 р.	Продовження теми 3. Основи роботи та інтерфейс програми COMSOL Multiphysics 4.3. Створення геометричних моделей електрохімічних систем. Введення основних фізико-хімічних параметрів. Граничний інтерфейс.
13	22 – 26 листопада 2021 р.	Тема 4. Моделювання та дослідження електролізерів. Моделювання гальванічної комірки із розчинними анодами. Моделювання гальванічної комірки із нерозчинними анодами.
14	29 листопада 2021 р. – 3 грудня 2021 р.	Продовження теми 4. Моделювання та дослідження електролізерів. Моделювання процесу електроосадження на поверхні мікропрофільованого катода. Моделювання методів дослідження

		розсіювальної здатності електролітів (комірка Хула, комірка Молера).
15	6 – 10 грудня 2021 р.	Продовження теми 4. Моделювання корозійних систем. Моделювання катодного захисту у водних середовищах. Моделювання катодного захисту у ґрунті та бетоні. Моделювання протекторного захисту.
16	13 – 17 грудня 2021 р.	Продовження теми 4. Моделювання хімічних джерел живлення. Моделювання літій іонних джерел живлення. Моделювання свинцевого акумулятора
17	20 – 24 грудня 2021 р.	Продовження теми 4. Моделювання хімічних джерел живлення. Моделювання паливного елемента. Моделювання високотемпературних джерел живлення.
18	27 – 31 грудня 2021 р.	Заключне заняття. Узагальнення особливостей моделювання електрохімічних систем в середовищі COMSOL Multiphysics 4.3. Підбиття підсумків.

Практичні заняття

Метою практичних занять є закріплення теоретичних знань, отриманих на лекціях та в процесі самостійної роботи з літературними джерелами в ході вивчення навчальної дисципліни «**Моделювання електрохімічних методів і систем**». Матеріал практичних занять спрямований на одержання досвіду розв'язання практичних задач технічної та теоретичної електрохімії, в тому числі і з застосуванням програмних середовищ (MS Excel, COMSOL Multiphysics).

Тиждень	Тема	Опис запланованої роботи
1-2	Типи електрохімічних систем.	Характеристика основних складових електрохімічної системи. Типи електродів і матеріалів. Виміри та розрахунки електродних потенціалів. Критерії вибору електродів порівняння. Електроліти та електрохімічні комірки, які використовують в електрохімічних дослідженнях. Основні прилади дослідження електрохімічних систем.
3-4	Стаціонарні методи дослідження в електрохімії.	Загальне рівняння поляризаційної кривої, визначення кінетичних параметрів реакцій і умов уповільненої стадії розряду-іонізації, стадії дифузії деполяризатора, пасивації поверхні. Аналіз поляризаційних кривих.

5-6	Хронопотенціометрія та хроноамперометрія	Аналіз хронопотенціограм. Рівняння Караогланова. Використання рівняння Караогланова для вивчення механізму та кінетики електродних процесів. Вигляд і аналіз хроноамперограми при нестационарній дифузії реагенту до електрода (рівняння Котрелла). I , τ – залежність при уповільненій стадії переносу заряду. Загальні принципи вольт-амперних вимірювань. Фактори, що впливають на вигляд амперограми. Рівняння Рендлса-Шевчика для максимального струму і його аналіз (вплив швидкості розгортки потенціалу, концентрації реагуючої речовини та ін.). Діагностичні критерії вольтамперограм. Урахування впливу нефарадеєвського струму і опору розчину на вольтамперограму.
7-8	Дослідження корозійних систем	Визначення ефективності інгібіторів для водних систем за стандартизованою методикою на основі вимірювання поляризаційного опору. Моделювання корозійної системи контактного обміну металів. Дослідження динаміки корозійного процесу методом поляризаційного опору. Обробка даних математичними методами.
9-10	Моделювання тривалого електроосадження металу в середовищі COMSOL Multiphysics	Моделювання процесів електроформування та тривалого електроосадження міді та нікелю. Дослідження впливу складу розчину, режиму електролізу, та геометричних параметрів електролізера на рівномірність осаду металу.
11-12	Моделювання електролізера із нерозчинним анодом в середовищі COMSOL Multiphysics	Моделювання процесів електрохімічної екстракції цинку та міді. Дослідження впливу режиму електролізу та геометричних параметрів електролізера на рівномірність катодного осаду та енергоефективність системи.
13 - 14	Моделювання корозійних систем в середовищі COMSOL Multiphysics	Моделювання процесу корозії сталі у бетоні. Моделювання корозійної системи: сталь із протекторним захистом у вигляді жертівного анода із магнієвого сплаву.
15-16	Захист РГР	
17-18	Написання МКР	

6. Самостійна робота студента/аспіранта

Самостійна робота студента (CPC) протягом семестру включає повторення лекційного матеріалу, виконання реферату, підготовка до експрес контрольних робіт, підготовка до модульної контрольної роботи, підготовка до екзамену. Рекомендована кількість годин, яка відводиться на підготовку до зазначених видів робіт:

Вид CPC	Кількість годин на підготовку
Підготовка до аудиторних занять: повторення лекційного матеріалу, підготовка до експрес контрольних робіт	3 години на тиждень
Виконання РГР	6 годин
Підготовка до МКР (повторення матеріалу)	2 години
Підготовка до екзамену	2 години

Політика та контроль

7. Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

У звичайному режимі роботи університету лекції проводяться в навчальних аудиторіях. У змішаному та дистанційному режимах лекційні заняття проводяться через платформу дистанційного навчання Сікорський. Відвідування лекцій є обов'язковим.

У кінці кожного практичного заняття (крім двох останніх) проводиться опитування за матеріалами попередніх лекцій у вигляді експрес контрольної роботи із застосуванням інтерактивних засобів (Google Forms, телеграм тощо). У кінці лекції лектор надсилає питання із застосуванням інтерактивних засобів з метою визначення рівня знань здобувачів за даною темою та підвищення зацікавленості.

Правила написання експрес контрольної роботи:

1. У звичайному режимі роботи університету експрес контрольна робота пишеться на практичному занятті за 20 – 30 хв до кінця заняття; у випадку дистанційної роботи університету викладач надсилає через Google Classroom та Телеграм запитання.
2. У випадку дистанційної роботи університету студент має у письмовій формі надіслати скан(фото) відповідей на запитання або через Google Classroom, або через Телеграм.
3. Експрес контрольна робота зараховується, якщо відповіді надіслані у визначений викладачем час, але не пізніше ніж 23:59 поточного дня опитування.

Правила написання модульної контрольної роботи:

1. Модульна контрольна робота пишеться на останньому практичному занятті.
2. У випадку дистанційної роботи університету викладач надсилає через Google Classroom та Телеграм білети. Студент має у письмовій формі надіслати скан(фото) відповідей на запитання або через Google Classroom, або через Телеграм.
3. Модульна контрольна робота зараховується, якщо відповіді надіслані у визначений викладачем час, але не пізніше ніж 23:59 поточного дня роботи.

Правила призначення заохочувальних та штрафних балів:

1. За виконання завдань із удосконалення дидактичних матеріалів з дисципліни нараховується від 1 до 6 заохочувальних балів;

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)

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

1. Поточний контроль: експрес контрольні роботи на практичних заняттях, МКР, РГР.
2. Календарний контроль: проводиться двічі на семестр як моніторинг поточного стану виконання вимог syllabusу.
3. Семестровий контроль: екзамен.

Рейтингова система оцінювання результатів навчання

1. Рейтинг студента з кредитного модуля розраховується виходячи із 100-бальної шкали. Стартовий рейтинг (протягом семестру) складається з балів, що студент отримує за:

- 1) експрес контрольні роботи (опитування на практичних заняттях);
- 2) написання модульної контрольної роботи
- 3) написання та захист розрахунково-графічної роботи.

2. Критерії нарахування балів:

2.1. Експрес контрольні роботи

Ваговий бал – 3. Максимальна кількість балів на всіх практичних заняттях дорівнює: 3 бали x 7 = 21 бал.

Критерії оцінювання

<u>3 бали</u> «відмінно»: (не менше 90 % потрібної інформації)	повна і вичерпно вірна відповідь на запитання лектора;
<u>2 бали</u> «добре»: (не менше 75% потрібної інформації)	вірна, в цілому, відповідь з незначними погрешностями, або формулювання вірної відповіді після невеликої навідної допомоги викладача чи іншого студента
<u>1 бали</u> «задовільно»: (не менше 60 % потрібної інформації)	відповідь з помилками принципового характеру як наслідок слабких знань фундаментальних положень хімії; високий процент плагіату
<u>0 балів</u> «незадовільно»:	повністю невірна відповідь; повний плагіат або повне копіювання чужих відповідей

2.2. Модульна контрольна робота (МКР)

Ваговий бал – 20. Максимальна кількість балів за контрольну роботу дорівнює: 3 балів x 7 = 21 балів. Кількість балів за контрольну роботу розраховується як сума балів за кожне питання завдання. Варіант контрольної роботи містить 4 завдання, кожне з яких оцінюється окремо, максимальний бал 5.

Критерії оцінювання відповідей на питання МКР:

<u>5-4 бали</u> <u>«відмінно»:</u> (не менше 90 % потрібної інформації)	безпомилкове вирішення розрахункових вправ і бездоганні відповіді на завдання при наявності елементів продуктивного (творчого) підходу; демонстрація вміння впевненого застосування фундаментальних знань з хімії при відповіді на контрольні завдання;
<u>3-2 бали</u> <u>«добре»:</u> (не менше 75 % потрібної інформації)	вирішення розрахункових вправ з незначними, не принциповими помилками (в т.ч. математичного характеру); наявність 1-2 помилок при відповіді на контрольні завдання;
<u>1 бал</u> <u>«задовільно»:</u> (не менше 60 % потрібної інформації)	вирішення розрахункових вправ з двома-трьома досить суттєвими помилками; наявність суттєвих помилок при відповіді на контрольні завдання;
<u>0 балів</u> <u>«незадовільно»:</u>	незадовільна відповідь

2.3. Розрахунково-графічна робота (РГР)

Ваговий бал – 20. Максимальна кількість балів за РГР 20 балів. Кількість балів за контрольну роботу розраховується як сума балів за виконання 10 балів та за захист 10 балів.

Критерії оцінювання виконання та захисту РГР:

<u>10-8 балів</u> <u>«відмінно»:</u> (не менше 90 % потрібної інформації)	безпомилкове вирішення розрахункових вправ і бездоганні відповіді на завдання при наявності елементів продуктивного (творчого) підходу; демонстрація вміння впевненого застосування фундаментальних знань з хімії при відповіді на контрольні завдання;
<u>7-5 балів</u> <u>«добре»:</u> (не менше 75 % потрібної інформації)	вирішення розрахункових вправ з незначними, не принциповими помилками (в т.ч. математичного характеру); наявність 1-2 помилок при відповіді на контрольні завдання;
<u>4-3 бали</u> <u>«задовільно»:</u> (не менше 60 % потрібної інформації)	вирішення розрахункових вправ з двома-трьома досить суттєвими помилками; наявність суттєвих помилок при відповіді на контрольні завдання;
<u>2 - 0 балів</u> <u>«незадовільно»:</u>	незадовільна відповідь

Захист РГР проводиться на передостанньому практичному занятті.

2.4. Календарний контроль

Умовою отримання позитивної оцінки «атестовано» за перший календарний контроль є позитивна оцінка мінімум з 2 експрес контрольних робіт $2 \times 4 = 8$ балів.

Умовою отримання позитивної оцінки «атестовано» за другий календарний контроль є позитивна оцінка мінімум з 4 опитувань на лекціях $4 \times 4 = 16$ балів.

Розрахунок шкали рейтингової оцінки з кредитного модуля (RD):

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

$$R = \sum_k r_k + \left(\sum_s r_s \right) = 21 + 20 + 20 = 61 \text{ балів} + \left(\sum_s r_s \right);$$

Екзаменаційна складова ($R_{ЕКЗ}$) шкали дорівнює 40 % від R , а саме:

$$R_{ЕКЗ} = R_C \cdot \frac{0,4}{1-0,4} = 60 \cdot \frac{0,4}{1-0,4} \cong 39 \text{ балів}.$$

Таким чином, рейтингова шкала з дисципліни складає

$$R = R_C + R_{ЕКЗ} = 61 + 39 = 100 \text{ балів}.$$

Розмір шкали рейтингу $R = 100$ балів.

Розмір стартової шкали $R_C = 61$ балів.

Розмір екзаменаційної шкали $R_{ЕКЗ} = 39$ балів.

Відповідно до «Положення про організацію навчального процесу в КПІ ім. Ігоря Сікорського», необхідними умовами допуску до екзамену є виконання модульної контрольної роботи, зарахування завдання з РР, а також стартовий рейтинг (r_C) не менш 50% від R_C , тобто: $r_C = 0,5R_C = 0,5 \times 61 \approx 30$ балів.

На екзамені студенти мають відповісти на питання екзаменаційного білета. Перелік питань наведений у додатку до робочої навчальної програми. Кожен білет містить три питання, кожне з яких оцінюється у 13 балів.

Критерії екзаменаційного оцінювання

<u>12-13 балів</u>	повна відповідь на запитання з елементами
<u>«відмінно»:</u>	оригінального, творчого підходу до пояснення прийнятих
(не менше 90 %	рішень, обґрунтування цих рішень на основі демонстрації
потрібної інформації)	вмінь залучати фундаментальні знання з хімії

<u>8-11 балів «добре»:</u>	повна і взагалі вірна відповідь на запитання з 1–5
(не менше 75 %	незначними помилками або зауваженнями
потрібної інформації)	

<u>5-7 балів</u>	взагалі вірна відповідь на запитання з 5–6 незначними
<u>«задовільно»:</u>	помилками та 1–2 зауваженнями принципового
(не менше 60 %	характеру, пов'язаного з неповнотою знань з
потрібної інформації)	фундаментальних основ

<u>0 балів</u>	незадовільна відповідь
----------------	------------------------

«незадовільно»:

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)

- *Вимоги до оформлення РГР, перелік запитань до МКР та екзамену наведені у Google Classroom «**Моделювання електрохімічних методів і систем**» (платформа Sikorsky-distance).*
- *Перелік матеріалів, якими дозволено користуватись під час написання контрольних заходів: власноруч написаний конспект лекцій.*

Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):

Складено асистентом кафедри технології електрохімічних виробництв:

к.т.н., ас. Ущаповський Д.Ю.

Ухвалено кафедрою **ТЕХВ** (протокол № 13 від 30.06.2021)

Погоджено Методичною комісією факультету (протокол № 10 від 23.06.2021)