



Гідроелектрометалургія та електроліз йонних розплавів

Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

Реквізити навчальної дисципліни	
Рівень вищої освіти	<i>Перший (бакалаврський)</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>Вибіркова</i>
Форма навчання	<i>очна(денна)</i>
Рік підготовки, семестр	<i>4 курс, осінній семестр</i>
Обсяг дисципліни	<i>4 кредити</i>
Семестровий контроль/ контрольні заходи	<i>Залік усний</i>
Розклад занять	<i>Лекція 2 години на тиждень (1 пара); лабораторний практикум 4 години на тиждень (2 пари на тиждень) за розкладом на rozklad.kpi.ua</i>
Мова викладання	<i>Українська</i>
Інформація про керівника курсу / викладачів	<i>Лектор: к.т.н., доцент Фроленкова Світлана Василівна, svetlana.frolenkova@gmail.com, телеграм: Svetlana Frolenkova</i>
Розміщення курсу	<i>Платформа Moodle (https://do.ipk.kpi.ua/course/view.php?id=4880)</i>

Програма навчальної дисципліни

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

Дисципліна «Гідроелектрометалургія та електроліз йонних розплавів» складається з двох розділів. При вивченні розділу «Гідроелектрометалургія» дисципліни викладаються загальні аспекти технологій очищення металів від домішок та вилучення металів із розчинів при одержанні їх піро- та гідрометалургійним способом з використанням електрохімічних процесів. При вивченні розділу «Електроліз йонних розплавів» викладаються основні положення будови розплавлених електролітів, їх фізико-хімічні властивості, особливості кінетики електродних процесів у йонних електролітах, основні методи отримання та рафінування металів і сплавів електролізом розплавів, конструкції електролізерів та шляхи їх подальшого вдосконалення.

Метою навчальної дисципліни є формування у студентів здатностей:

- застосовувати знання у практичних ситуаціях;
- знання та розуміння предметної області і професійної діяльності;
- навички здійснення безпечної діяльності;
- продемонструвати знання і розуміння основних фактів, концепцій, принципів і теорій, що належать до хімічної технології та інженерії;
- здатність використовувати методи спостереження, опису, ідентифікації, класифікації об'єктів хімічної технології та промислової продукції.

Після засвоєння навчальної дисципліни студенти мають продемонструвати такі результати навчання:

ЗНАННЯ:

- способів одержання металів із руд, їх переваги та недоліки;
- вплив різних факторів на перебіг електродних процесів та хімічних реакцій в електролітах електрорафінування та електроекстракції;
- технології очистки металів від домішок шляхом електрорафінування;
- технології вилучення металів із розчинів шляхом електролізу та цементації в гідрометалургії;
- конструкції електролізерів для електрорафінування, електроекстракції металів та устаткування для вилучення металів цементацією;
- вплив різних технологічних параметрів на ступінь очистки металів при електрорафінуванні, на повноту видалення металів із водних розчинів при електроекстракції та цементації; підвищення продуктивності вказаних процесів;
- будови іонних електролітів та їх фізико-хімічних властивостей;
- механізму та природи електродних процесів, які відбуваються при електролізі розплавлених солей;
- технології одержання лужних металів та їх сплавів (технологічні процеси, конструкції ванни, режими електролізу, оптимальний склад електроліту);
- переваг та технологічних особливостей нанесення гальванічних металічних та неметалічних покриттів із іонних розплавів;
- можливостей використання іонних розплавів при створенні високоефективних хімічних джерел струму;
- методів застосування іонних розплавів для модифікування та очистки поверхні металевих виробів;
- аномальні явища в електрохімії розплавлених електролітів (анодне виділення та катодне розчинення металів).

УМІННЯ:

- вибирати електроліти та режими електролізу з урахуванням останніх досягнень в електроосажденні металів з метою покращення якості одержуваних металів та продуктивності процесів;
- розраховувати розміри ванн, їх кількість, обґрунтовано вибирати схеми розташування ванн в цеху;
- вибирати схему циркуляції електролітів та розраховувати необхідну швидкість їх циркуляції;
- використовувати набуті знання та навички для досягнення кращих економічних показників процесів електрорафінування, електроекстракції та цементації;
- обрати склад електроліту для проведення таких технологічних процесів, як трьохшарове та катодно - анодне рафінування металів, очистка поверхні сталевих виробів від полімерних залишків та керамічних сполук;
- скласти баланс напруги на електролізерах, які використовуються у високотемпературних електрохімічних технологіях;
- скласти матеріальний баланс електролізерів з іонними розплавами як електролітами;
- дати рекомендації по усуненню анодного ефекту при одержанні алюмінію електролізом;
- обґрунтувати відносно низький вихід металічного натрію при електролізі розплавленого гідроксиду натрію;

- обрати конструкційні матеріали та матеріали, з яких виготовляють електроди, при отриманні натрію, літію, магнію, алюмінію електролізом іонних розплавів.

досвід:

- використання отриманих знань та навичок при плануванні та роботі технологічних ліній гальванічних виробництв;
- використовувати одержані знання для аналізу та інтерпретації електродних процесів, які відбуваються при електролізі іонних електролітів.
- обґрунтувати доцільність вибору технологічних схем, матеріалів електродів, режимів процесів та конструкцій ванн при проведенні електролізу розплавлених електролітів.

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:

Загальна та неорганічна хімія.	Класи хімічних сполук та їх властивості
Органічна хімія	Класифікація органічних сполук; їх властивості та способи отримання
Фізика	Фізичні властивості рідин, газів та твердих речовин. Температурні залежності переходу речовин з одного стану в інший
Матеріалознавство	Корозійно стійкі матеріали та сплави для виготовлення обладнання хімічних виробництв
Теоретична електрохімія	Основні закономірності перебігу електродних реакцій, процесів розчинення та осадження металів
Процеси та апарати хімічних технологій	Конструкції та будова апаратів і приладів, що використовуються на різних стадіях технологічного процесу в хімічному виробництві

3. Зміст навчальної дисципліни

РОЗДІЛ 1. Гідроелектрометалургія.

Тема 1.1. Характеристика сировини та способів одержання металів

Характеристика сировини та класифікація корисних копалин. Способи одержання чистих металів із руд. Основні технологічні операції ПМ та ГМ при одержанні металів із руд. Електрохімічні процеси при пірометалургійному (ПМ) і гідрометалургійному (ГМ) одержанні чистих металів із руд - гідроелектрометалургія (ГЕМ). Переваги гідрометалургійного методу в порівнянні з пірометалургійним. Переробка вторинної металовмісної сировини. Перспективи розвитку електролізу водних розчинів і металургії кольорових, рідкісних і чорних металів.

Тема 1.2. Механічні способи підготовки сировини

Механічні способи підготовки руд та вторинної сировини: подрібнення, сортування, збагачення, зневоднення. Обладнання, яке використовують для механічних способів обробки та підготовки руд і вторинної сировини.

Тема 1.3. Хімічні способи підготовки

Хімічні способи підготовки руди. Випал. Вилуговування руд та концентратів в ГМ. Способи вилуговування: перколяційне, агітаційне, в «кучах» та підземне. Термодинаміка та кінетика процесів вилуговування. Вплив різних чинників на швидкість вилуговування. Реагенти для вилуговування. Очистка одержаних розчинів від домішок: осадження малорозчинних сполук; цементация; екстракційна очистка розчинів; іонообмінні способи; електрохімічний спосіб.

РОЗДІЛ 2. Технології одержання металів із первинної сировини

Тема 2.1. Одержання міді з руд

Застосування міді і вимоги до її чистоти. Руди, що містять мідь, та способи одержання чистої міді з них. Вторинна сировина, яка містить мідь. Пірометалургійна переробка мідних руд і концентратів (загальна технологічна схема). Електролітичне рафінування міді: електроліти; режими електролізу; електродні процеси; незбалансованість анодного і катодного виходів за струмом міді; вплив іонів одновалентної міді; циркуляція електроліту. Анодне розчинення металів, які містять металеві і неметалеві домішки; включення в катодний метал металевих і неметалевих домішок; домішки, які накопичуються в електроліті та їх видалення. Гідрометалургійна переробка мідних руд (загальна технологічна схема). Електроекстракція та цементация міді. Переробка вторинної мідь-вмісної сировини.

Тема 2.2. Одержання нікелю із руд

Гідроелектрометалургія нікелю. Застосування нікелю в промисловості. Нікелеві руди і способи їх переробки. Пірометалургійний спосіб одержання нікелю. Електрорафінування нікелю: електроліти; режими електролізу; електродні процеси; домішки і очистка від них електролітів; одержання розчину, що містить іони нікелю, який використовують для корегування електролітів виробничих ванн електрорафінування; особливості переробки шламів, які утворюються на металевих і сульфідних анодах; конструкції електролізерів. Гідрометалургійний спосіб одержання нікелю: операції, які передують електролізу: випалювання, вилуговування (кінетика розчинення сполук нікелю), очистка розчинів від домішок; електроекстракція нікелю (електроліти, режими електролізу, електродні процеси). Переробка вторинної сировини, яка містить нікель.

Тема 2.3. Одержання кобальту із руд

Застосування кобальту в промисловості. Основні джерела сировини і способи їх переробки. Технологічні схеми одержання кобальту. Електрорафінування кобальту. Переробка вторинної сировини, яка містить кобальт. Одержання порошку кобальту.

Тема 2.4. Електрорафінування срібла та золота. Одержання срібла та золота гідрометалургійним способом

Гідроелектрометалургія срібла і золота. Основні види сировини і методи її переробки для виробництва срібла і золота. Пірометалургійний спосіб одержання срібла та золота. Електролітичне рафінування срібла: електроліти і режими електролізу; електродні процеси (основні та побічні); домішки та їх видалення; залежність структури і якості катодних осадів від складу електроліту і режимів електролізу; якість одержуваних осадів срібла. Електролітичне рафінування золота: електроліти і режими електролізу; незбалансованість анодного і катодного виходів за струмом золота; причини пасивації золотих анодів і способи їх усунення; домішки і їх видалення; одержання розчину для коректування електролітів

золочення виробничих ванн. Гідрометалургійний спосіб одержання золота та срібла. Характерні особливості гідрометалургії золота та срібла. Амальгамування.

Тема 2.5. Одержання цинку та кадмію

Руди, які містять цинк і способи одержання цинку. Застосування цинку в промисловості. Гідрометалургія цинку. Механічні і хімічні способи підготовки руд для вилуговування. Вилуговування руд і концентратів. Поводження сполук металів при вилуговуванні. Очистка одержаних розчинів від домішок. Фільтрація розчинів. Обладнання для вказаних процесів. Електроекстракція цинку: електроліти, режими електролізу, електродні процеси; домішки та їх вплив на процес електролізу; каскадне та роздільне паралельне живлення електролітом ванн; види охолодження електроліту; конструкції електролізерів. Шляхи інтенсифікації процесу одержання чистого цинку: використання форсованих режимів, безперервного процесу електролізу. Обладнання для електроекстракції цинку. Отримання цинкового порошку.

Руди, які містять кадмій і способи одержання кадмію. Застосування кадмію в промисловості. Одержання кадмію із мідно-кадмієвого кеку: підготовчі операції, електроекстракція та цементация кадмію. Обладнання для вказаних процесів.

Тема 2.6. Одержання олова та свинцю

Гідроелектрометалургія олова. Застосування олова в промисловості. Основні види сировини. Технологічна схема пірометалургійного способу одержання олова. Електрорафінування чорного олова: електроліти, режими, електродні процеси. Технологічна схема регенерації олова з жерстяного скрапу. Технологія одержання високо чистого олова.

Гідроелектрометалургія свинцю. Застосування свинцю в промисловості. Свинцевмісні руди. Пірометалургійний спосіб одержання свинцю. Технологічні схеми рафінування свинцю пірометалургійним та електрохімічним способами. Особливості рафінування свинцю. Переробка шламу. Переробка вторинної сировини, яка містить свинець.

РОЗДІЛ 3. Електроліз йонних розплавів.

Тема 3.1. Йонні розплави як окремий вид електролітів.

Загальна характеристика йонних розплавів, як окремого виду електролітів. Будова розплавлених солей. Механізм плавлення твердих тіл. Транспортні властивості йонних електролітів. Електродні потенціали і будова подвійного електричного шару в розплавлених електролітах. Особливості кінетики електродних процесів в електрохімії розплавів.

Тема 3.2. Одержання натрію та літію

Фізико-хімічні властивості натрію та галузі його застосування. Одержання натрію електролізом розплавленого їдкого натру. Обґрунтування складу електроліту та робочої температури. Теорія електродних процесів при електролізі гідроксидних розплавів. Конструкції електролізних ванн. Технологічні режими електролізу. Залежність сумарного виходу по енергії від конструкційних особливостей ванни. Одержання натрію електролізом розплавленого хлориду натрію. Теорія процесу, склад електроліту, конструкції ванн. Режими електролізу. Рафінування одержаного натрію. Електрохімічне одержання сплавів натрію із свинцем.

Електролітичне одержання металічного літію, калію та їх сплавів. Фізико-хімічні властивості та застосування таких металів. Сировина для виробництва металічного літію. Теорія процесів. Склад електроліту та робоча температура. Конструкція ванн. Зберігання та транспортування металічного літію.

Тема 3.3. Одержання магнію, кальцію, барію, стронцію та їх сплавів

Фізико – хімічні властивості магнію та його застосування. Сировина та технологічні схеми її переробки. Склад та властивості електролітів. Теорія процесу. Основні принципи конструювання ванн з верхнім та боковим вводом анодів. Рафінування магнію. Інформація про електролітичне одержання кальцію, барію, стронцію та їх сплавів.

Тема 3.4. Технологія одержання алюмінію

Значення алюмінію, його властивості, застосування. Основні види сировини та способи її переробки на криоліт та глинозем. Склад та властивості робочого електроліту для одержання алюмінію. Теорія електродних процесів. Ванни з блочними анодами. Принципи конструювання ванн. Ванни з самообпаленими анодами з верхнім та боковим підводом струму. Вплив анодного ефекту на параметри технологічного процесу. Причини його виникнення. Засоби усунення анодного ефекту та його використання. Трьохшарове рафінування алюмінію-сирцю. Принципи підбору складу електроліту та анодного матеріалу. Будова електролізної ванни.

Тема 3.5. Технологія одержання тугоплавких металів

Фізико-хімічні властивості тугоплавких металів. Склад електролітів. Електродні процеси. Вплив катіонного складу електролітів на електродні процеси та на природу катодних продуктів. Багатостадійність катодних процесів. Методи керування такими процесами.

Тема 3.6. Електрохімічне одержання фтору

Фізико-хімічні властивості фтору. Сфери застосування. Склад електролітів. Електродні процеси. Вплив кислотно-основних властивостей розплавленого електроліту на параметри катодних та анодних процесів.

Тема 3.7. Електрохімічне формування металічних та неметалічних покриттів в іонних розплавах

Особливості катодного осадження металів при електролізі розплавлених солей. Переваги та недоліки високотемпературного нанесення гальванічних покриттів з іонних розплавів. Електроліз розплавів як один з ефективних методів нанесення покриттів. Нанесення алюмінієвих та олов'яних покриттів. Високотемпературні та низькотемпературні електроліти, їх склад та властивості. Удосконалення якості покриттів за рахунок використання модифікаторів та поверхнево-активних речовин. Електрохімічне нанесення олова на сталеві вироби. Безперервне нанесення покриттів з олова на сталеві листи. Конструкція ванни та склад електроліту. Режим електролізу. Електрохімічне цинкування з іонних розплавів, його переваги перед цинкуванням з водних розчинів електролітів. Технологія осадження вольфрамових покриттів. Склад та властивості електролітів. Вплив кислотно-основних властивостей електролітів на протікання катодних процесів в електролітах вольфрамівання

Тема 3.8. Области використання іонних розплавів.

Використання іонних розплавів в металургійній промисловості. Аномальні явища в електрохімії розплавів та їх використання. Високотемпературні хімічні джерела струму. Використання явища катодного розчинення металів при електрохімічному поліруванні металів. Схема масопереносу при катодному поліруванні металів у кисеньмісних

розплавлених електролітах. Використання катодного розчинення металів для електрохімічного синтезу оксидів металів з певними функціональними властивостями.

4. Навчальні матеріали та ресурси

Базова

1. Антропов Л.І. Теоретична електрохімія. Підручник. К: Либідь, 1993.- 544с.
2. Вольдман Г.М. Теорія гідрометалургійних процесів.-М: Інтернет Інжинірінг, 2003.- 480с.
3. Худяков И.Ф., Дорошевич А.П., Кляйн С.Е. Технологія вторинних кольорових металів.-М: Металургія, 1981.- 280 с.
4. Байрачний Б.І., Ляшок Л.В. Гідроелектрометалургія/ Підручник.-Х:НТУ «ХПІ», 2012.-496с.
5. Кунтий О.І., Зозуля Г.І. Електроліз іонних розплавів. Виробництво магнію.-Львів: Львівська політехніка, 2006. -208 стор. .

Допоміжна

1. Яворський В.Т., Кунтий О.І., Козак С.І., Срібний В.М. Електрохімічне одержання металів у водних розчинах. Львів: Львівська політехніка, 1999.-117с.
2. Делімарський Ю.К., Барчук Л.П. Прикладна хімія іонних розплавів.-К.: Наукова думка, 1988.- 190 с.
3. Баймаков Ю.В., Вітюттов М.М. Електроліз розплавлених солей.-М.: Металургія, 1966. -560 с.
4. Делімарський Ю.К. Електрохімія іонних розплавов. – М.: Металургія, 1978. – 400 с.
5. Делімарський Ю.К., Фішман І.Р., Зарубіцький О.Г. Електрохімічне очищення відливок в іонних розплавах – К.: Наукова думка, 1976.- 208 с.

Інформаційні ресурси

1. Фроленкова, С. В. Електроліз іонних розплавів [Електронний ресурс] : підручник для студентів спеціальності 161 “Хімічні технології та інженерія” спеціалізації «Електрохімічні технології неорганічних та органічних матеріалів» / С. В. Фроленкова, О. В. Лінючева, Т. І. Мотронюк ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 7,05 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. – 130 с.
Доступ: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/24937>

Навчальний контент

5. Методика опанування навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Лекційні заняття

Вичитування лекцій з дисципліни проводиться паралельно з розглядом студентами питань, що виносяться на самостійну роботу. При читанні лекцій застосовуються засоби для відео конференцій Zoom 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 – повторити матеріал попередньої.

№	Дата	Опис заняття
1	3 – 9 лютого 2025 р.	<p>Розділ 1. Тема 1.1. Характеристика сировини та способів одержання металів Характеристика сировини та класифікація корисних копалин. Способи одержання чистих металів із руд. Основні технологічні операції ПМ та ГМ при одержанні металів із руд. Електрохімічні процеси при пірометалургійному (ПМ) і гідрометалургійному (ГМ) одержанні чистих металів із руд - гідроелектрометалургія (ГЕМ). Переваги гідрометалургійного методу в порівнянні з пірометалургійним. Переробка вторинної металовмісної сировини. Перспективи розвитку електролізу водних розчинів і металургії кольорових, рідкісних і чорних металів.</p>
2	3 – 9 лютого 2025 р.	<p>Тема 1.2. Механічні способи підготовки сировини Механічні способи підготовки руд та вторинної сировини: подрібнення, сортування, збагачення, зневоднення. Обладнання, яке використовують для механічних способів обробки та підготовки руд і вторинної сировини.</p>
3	10 - 16 лютого 2025 р.	<p>Тема 1.3. Хімічні способи підготовки Хімічні способи підготовки руди. Випал. Вилуговування руд та концентратів в ГМ. Способи вилуговування: перколяційне, агітаційне, в «кучах» та підземне. Термодинаміка та кінетика процесів вилуговування. Вплив різних чинників на швидкість вилуговування. Реагенти для вилуговування. Очистка одержаних розчинів від домішок: осадження малорозчинних сполук; цементація; екстракційна очистка розчинів; іонообмінні способи; електрохімічний спосіб.</p>
4	10 - 16 лютого 2025 р	<p>Розділ 2. Тема 2.1. Одержання міді з руд Застосування міді і вимоги до її чистоти. Руди, що містять мідь, та способи одержання чистої міді з них. Вторинна сировина, яка містить мідь. Пірометалургійна переробка мідних руд і концентратів (загальна технологічна схема). Електролітичне рафінування міді: електроліти; режими електролізу; електродні процеси; незбалансованість анодного і катодного виходів за струмом міді; вплив іонів одновалентної міді; циркуляція електроліту. Анодне розчинення металів, які містять металеві і неметалеві домішки; включення в катодний метал металевих і неметалевих домішок; домішки, які накопичуються в електроліті та їх видалення. Гідрометалургійна переробка мідних руд (загальна технологічна схема). Електроекстракція та цементація міді. Переробка вторинної мідь-вмісної сировини.</p>
5	17 - 23 лютого 2025 р	<p>Тема 2.2. Одержання нікелю із руд Гідроелектрометалургія нікелю. Застосування нікелю в промисловості. Нікелеві руди і способи їх переробки. Пірометалургійний спосіб одержання нікелю. Електрорафінування нікелю: електроліти; режими електролізу; електродні процеси; домішки і очистка від них електролітів; одержання розчину, що містить іони нікелю, який використовують для корегування електролітів виробничих ванн електрорафінування; особливості переробки шламів, які утворюються на металевих і сульфідних анодах; конструкції електролізерів. Гідрометалургійний спосіб одержання нікелю: операції, які передують електролізу: випалювання, вилуговування (кінетика розчинення сполук нікелю), очистка розчинів від домішок; електроекстракція нікелю (електроліти, режими електролізу, електродні процеси). Переробка вторинної сировини, яка містить нікель.</p>

6	17 - 23 лютого 2025 р.	<p>Тема 2.3. Одержання кобальту із руд Застосування кобальту в промисловості. Основні джерела сировини і способи їх переробки. Технологічні схеми одержання кобальту. Електрорафінування кобальту. Переробка вторинної сировини, яка містить кобальт. Одержання порошку кобальту.</p>
7	24 лютого – 2 березня 2025 р.	<p>Тема 2.4. Електрорафінування срібла та золота. Одержання срібла та золота гідрометалургійним способом Гідроелектрометалургія срібла і золота. Основні види сировини і методи її переробки для виробництва срібла і золота. Пірометалургійний спосіб одержання срібла та золота. Електролітичне рафінування срібла: електроліти і режими електролізу; електродні процеси (основні та побічні); домішки та їх видалення; залежність структури і якості катодних осадів від складу електроліту і режимів електролізу; якість одержуваних осадів срібла. Електролітичне рафінування золота: електроліти і режими електролізу; незбалансованість анодного і катодного виходів за струмом золота; причини пасивації золотих анодів і способи їх усунення; домішки і їх видалення; одержання розчину для коректування електролітів золочення виробничих ванн. Гідрометалургійний спосіб одержання золота та срібла. Характерні особливості гідрометалургії золота та срібла. Амальгамування.</p>
8	24 лютого – 2 березня 2025 р.	<p>Тема 2.5. Одержання цинку та кадмію Руди, які містять цинк і способи одержання цинку. Застосування цинку в промисловості. Гідрометалургія цинку. Механічні і хімічні способи підготовки руд для вилуговування. Вилуговування руд і концентратів. Поводження сполук металів при вилуговуванні. Очистка одержаних розчинів від домішок. Фільтрація розчинів. Обладнання для вказаних процесів. Електроекстракція цинку: електроліти, режими електролізу, електродні процеси; домішки та їх вплив на процес електролізу; каскадне та роздільне паралельне живлення електролітом ванн; види охолодження електроліту; конструкції електролізерів. Шляхи інтенсифікації процесу одержання чистого цинку: використання форсованих режимів, безперервного процесу електролізу. Обладнання для електроекстракції цинку. Отримання цинкового порошку. Руди, які містять кадмій і способи одержання кадмію. Застосування кадмію в промисловості. Одержання кадмію із мідно-кадмієвого кеку: підготовчі операції, електроекстракція та цементация кадмію. Обладнання для вказаних процесів.</p>
9	3 - 9 березня 2025 р.	<p>Тема 2.6. Одержання олова та свинцю Гідроелектрометалургія олова. Застосування олова в промисловості. Основні види сировини. Технологічна схема пірометалургійного способу одержання олова. Електрорафінування чорного олова: електроліти, режими, електродні процеси. Технологічна схема регенерації олова з жерстяного скрапу. Технологія одержання високо чистого олова. Гідроелектрометалургія свинцю. Застосування свинцю в промисловості. Свинцевмісні руди. Пірометалургійний спосіб одержання свинцю. Технологічні схеми рафінування свинцю пірометалургійним та електрохімічним способами. Особливості рафінування свинцю. Переробка шламу. Переробка вторинної сировини, яка містить свинець.</p>
10	3 - 9 березня 2025 р.	<p>РОЗДІЛ 3. Електроліз йонних розплавів. Тема 3.1. Йонні розплави як окремий вид електролітів. Загальна характеристика йонних розплавів, як окремого виду електролітів. Будова розплавлених солей. Механізм плавлення твердих тіл. Транспортні властивості йонних електролітів. Електродні потенціали і будова подвійного електричного шару в розплавлених електролітах. Особливості кінетики електродних процесів в електрохімії розплавів.</p>
		<p>Тема 3.2. Одержання натрію та літію Фізико-хімічні властивості натрію та галузі його застосування.</p>

11	10 - 16 березня 2025 р.	<p>Одержання натрію електролізом розплавленого їдкоого натру. Обґрунтування складу електроліту та робочої температури. Теорія електродних процесів при електролізі гідроксидних розплавів. Конструкції електролізних ванн. Технологічні режими електролізу. Залежність сумарного виходу по енергії від конструкційних особливостей ванни. Одержання натрію електролізом розплавленого хлориду натрію. Теорія процесу, склад електроліту, конструкції ванн. Режими електролізу. Рафінування одержаного натрію. Електрохімічне одержання сплавів натрію із свинцем.</p> <p>Електролітичне одержання металічного літію, калію та їх сплавів. Фізико-хімічні властивості та застосування таких металів. Сировина для виробництва металічного літію. Теорія процесів. Склад електроліту та робоча температура. Конструкція ванн. Зберігання та транспортування металічного літію.</p>
12	10 - 16 березня 2025 р.	<p>Тема 3.3. Одержання магнію, кальцію, барію, стронцію та їх сплавів Фізико – хімічні властивості магнію та його застосування. Сировина та технологічні схеми її переробки. Склад та властивості електролітів. Теорія процесу. Основні принципи конструювання ванн з верхнім та боковим вводом анодів. Рафінування магнію. Інформація про електролітичне одержання кальцію, барію, стронцію та їх сплавів</p>
13	17 - 23 березня 2025 р.	<p>Тема 3.4. Технологія одержання алюмінію Значення алюмінію, його властивості, застосування. Основні види сировини та способи її переробки на криоліт та глинозем. Склад та властивості робочого електроліту для одержання алюмінію. Теорія електродних процесів. Ванни з блочними анодами. Принципи конструювання ванн. Ванни з самообпаленими анодами з верхнім та боковим підводом струму. Вплив анодного ефекту на параметри технологічного процесу. Причини його виникнення. Засоби усунення анодного ефекту та його використання. Трьохшарове рафінування алюмінію-сирцю. Принципи підбору складу електроліту та анодного матеріалу. Будова електролізної ванни.</p>
14	17 - 23 березня 2025 р.	<p>Тема 3.5. Технологія одержання тугоплавких металів Фізико-хімічні властивості тугоплавких металів. Склад електролітів. Електродні процеси. Вплив катіонного складу електролітів на електродні процеси та на природу катодних продуктів. Багатостадійність катодних процесів. Методи керування такими процесами.</p>
15	24– 30 березня 2025 р.	<p>Тема 3.6. Електрохімічне одержання фтору Фізико-хімічні властивості фтору. Сфери застосування. Склад електролітів. Електродні процеси. Вплив кислотно-основних властивостей розплавленого електроліту на параметри катодних та анодних процесів.</p>
16	24– 30 березня 2025 р..	<p>Тема 3.7. Електрохімічне формування металічних та неметалічних покриттів в іонних розплавах Особливості катодного осадження металів при електролізі розплавлених солей. Переваги та недоліки високотемпературного нанесення гальванічних покриттів з іонних розплавів. Електроліз розплавів як один з ефективних методів нанесення покриттів. Нанесення алюмінієвих та олов'яних покриттів. Високотемпературні та низькотемпературні електроліти, їх склад та властивості. Удосконалення якості покриттів за рахунок використання модифікаторів та поверхнево-активних речовин . Електрохімічне нанесення олова на сталі вироби. Безперервне нанесення покриттів з олова на сталі листи. Конструкція ванни та склад електроліту. Режим електролізу. Електрохімічне цинкування з іонних розплавів, його переваги перед цинкуванням з водних розчинів електролітів. Технологія осадження вольфрамів покриттів. Склад та властивості електролітів. Вплив</p>

		<i>кислотно-основних властивостей електролітів на протікання катодних процесів в електролітах вольфрамівання.</i>
17	31 березня – 6 квітня 2025 р.	Тема 3.8. Области використання іонних розплавів. <i>Використання іонних розплавів в металургійній промисловості. Аномальні явища в електрохімії розплавів та їх використання. Високотемпературні хімічні джерела струму. Використання явища катодного розчинення металів при електрохімічному поліруванні металів. Схема масопереносу при катодному поліруванні металів у кисеньвмісних розплавлених електролітах. Використання катодного розчинення металів для електрохімічного синтезу оксидів металів з певними функціональними властивостями.</i>
18	31 березня – 6 квітня 2025 р.	<i>МКР. ЗАЛІК.</i>

Лабораторний практикум

Метою лабораторного практикуму є закріплення теоретичних знань, отриманих на лекціях та в процесі самостійної роботи з літературними джерелами в ході вивчення навчальної дисципліни «Гідроелектрометалургія та електроліз іонних розплавів». Тематика та матеріали лабораторного практикуму спрямовані на технічну реалізацію відомих з лекційного курсу методик та набуття досвіду виконання певних лабораторних операцій.

№	Дата	Тема	Опис запланованої роботи
1	3 – 9 лютого 2025 р.	<i>Вступ до курсу</i>	<i>Навчання з техніки безпеки в хімічній лабораторії. Сітка годин та планування алгоритму проведення лабораторних робіт.</i>
2	10 – 23 лютого 2025 р.	<i>Електрорафінування міді. Вивчення впливу концентрації сірчаної кислоти в електроліті на напругу на ванні та питомі витрати електроенергії</i>	<i>Відповідно до отриманого індивідуального завдання ознайомитись з технологією та режимами електрорафінування міді з розчинів з різним вмістом сірчаної кислоти. Захист роботи.</i>
3	24 лютого – 9 березня 2025 р.	<i>Електрорафінування міді. Вивчення впливу ПАР на процес електрорафінування міді</i>	<i>Ознайомитись з перебігом процесу електрорафінування міді з розчинів з різним вмістом поверхнево-активних речовин (ПАР). Захист роботи.</i>
4	10 березня - 23 березня 2025 р.	<i>Електрорафінування міді. Складання балансу напруги ванни електрорафінування міді при різних густинах струму</i>	<i>Вимірювання різних параметрів процесу електрорафінування міді (струму, напруги, поляризації) для складання балансу напруги для застосованого електролізеру. Захист роботи.</i>
5	24 березня – 6 квітня 2025 р.	<i>Електрорафінування міді. Складання матеріального балансу процесу електрорафінування міді</i>	<i>Відповідно до отриманого індивідуального завдання встановити зміни мас анодів для складання матеріального балансу для застосованого електролізеру для рафінування міді. Захист роботи.</i>

Практичні заняття не передбачені навчальним планом.

6. Самостійна робота студента

Самостійна робота студента (СРС) протягом семестру включає повторення лекційного матеріалу та підготовку до заліку. Рекомендована кількість годин, яка відводиться на підготовку до зазначених видів робіт:

Вид СРС	Кількість годин на підготовку
Повторення лекційного матеріалу	2 – 3 години на тиждень
Підготовка до заліку	4 години

Політика та контроль

7. Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

У звичайному режимі роботи університету лекції та лабораторні практикуми проводяться в навчальних аудиторіях. У змішаному режимі лекційні заняття проводяться через платформу дистанційного навчання Сікорський у форматі відеоконференції Zoom, лабораторні практикуми в очному режимі в лабораторіях корпусу. У дистанційному режимі всі заняття проводяться через платформу дистанційного навчання Сікорський, у форматі відеоконференцій Zoom. Відвідування лекцій та лабораторних практикумів є обов'язковим.

На початку кожної лекції проводиться опитування за матеріалами попередньої лекції із застосуванням інтерактивних засобів (Тестові завдання розташовані на платформі Moodle). Перед початком чергової теми лектор може надсилати питання із застосуванням інтерактивних засобів з метою визначення рівня обізнаності здобувачів за даною темою та підвищення зацікавленості.

Правила захисту лабораторних практикумів та розрахункової роботи:

1. До захисту допускаються студенти, які правильно оформили протокол та виконали розрахунки (при неправильно виконаних розрахунках їх слід усунути).
2. Захист відбувається за графіком, зазначеним у п.5 за індивідуальними завданнями.
3. Після перевірки завдання викладачем на захист виставляється загальна оцінка і робота вважається захищеною.
4. Несвоєчасні захист і виконання роботи без поважної причини штрафуються відповідно до правил призначення заохочувальних та штрафних балів.

Правила призначення заохочувальних та штрафних балів:

1. Несвоєчасний захист лабораторних робіт (заборгованість більше ніж дві роботи) штрафуються не допуском до виконання наступної лабораторної роботи.
2. За модернізацію робіт нараховується від 1 до 5 заохочувальних балів;
3. За активну роботу на лекції нараховується до 0,5 заохочувальних балів (але не більше 5 балів на семестр).

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: опитування на лекційних та лабораторних заняттях.
2. Календарний контроль для здобувачів вищої освіти данного рівня в цьому семестрі не проводиться.
3. Семестровий контроль: залік.

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:**
 - опитування (тестування) за матеріалами лекцій;
 - роботу з лабораторного практикуму (4 теми занять);
 - виконання модульної контрольної роботи;
 - виконання домашньої контрольної роботи.

2. Критерії нарахування балів:

2.1. Опитування шляхом виконання тестових завдань викладених на платформі Moodle(<https://do.ipk.kpi.ua/course/view.php?id=4880>). Кожен тест містить десять запитань (0,33 бала за кожне питання). Кількість балів за тест розраховується як сума балів за кожне питання. Ваговий бал – $0,33 \times 30 = 10$ балів.

Оцінювання роботи проводиться за наступною шкалою:

- повна правильна відповідь – **0,33 бала**;
- невірна відповідь – **0 балів**.

Всього за даний вид роботи можливо отримати $10 \text{ балів} \times 5 \text{ тестів} =$ **50 балів**.

2.2. Робота з лабораторного практикуму:

- бездоганна робота – 5 балів;
- є певні недоліки у підготовці та/або виконанні роботи – 3,5 – 4 бали;
- є недоліки у підготовці та/або виконанні роботи – 1 – 3 бали.

Робота не виконана або не захищена – 0 балів.

Допуск до виконання лабораторної роботи:

- при перевірці готовності до ЛР надаються вірні і вичерпні відповіді на усі запитання викладача, підготовлено в повному обсязі схему протоколу лабораторної роботи – **1 бал**;
- при перевірці готовності студент має утруднення при формулюванні вірних відповідей на запитання викладача; є зауваження щодо підготовки протоколу - **0,5 бала**;
- відсутній протокол; відсутній халат; студент має проблеми із формулюванням мети виконання роботи – **0 балів**.

Виконання роботи:

- безпомилкове виконання завдання ЛР в повному обсязі з наявністю елементів творчого підходу при безумовному додержанні правил і норм техніки безпеки – **2 бали**;
- виконання завдань ЛР в повному обсязі при наявності зауважень з боку викладача щодо необґрунтованого відхилення від методичних вказівок або щодо додержання вимог техніки безпеки – **0,5 - 1,5 бала**;

- 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 балів**.

Якість протоколу та захисту лабораторної роботи:

- наявність впевнених знань і набутих вмінь з завдань виконаної роботи; бездоганне оформлення протоколу та інших матеріалів – **2 бали**;
- не зовсім повне оволодіння знаннями і вміннями за підсумками виконання ЛР; зауваження щодо повноти і якості оформлення протоколу – **1,5 бала**;
- наявність суттєвих зауважень щодо повноти, грамотності і охайності при оформленні матеріалів з виконаної роботи – **0,5 – 1 бал**;
- значні зауваження щодо повноти і оформлення протоколу; неспроможність дати відповідь по виконаній роботі – **0 балів**.

Всього за даний вид роботи можливо отримати 5 балів × 4 лаб. роботи = **20 балів**.

2.3. Виконання модульної контрольної роботи у вигляді тесту на останньому лекційному занятті, що розміщений на платформі Moodle (<https://do.ipk.kpi.ua/course/view.php?id=4880>). Тест (МКР) містить двадцять запитань (0,5 бала за кожне питання). Кількість балів за тест розраховується як сума балів за кожне питання.

Оцінювання роботи проводиться за наступною шкалою:

- повна правильна відповідь – **0,5 бала**;
- невірна відповідь – **0 балів**.

Ваговий бал – 0,5 бала × 20 = **10 балів**.

2.4. Виконання розрахунково – графічної роботи. Завдання містить шість питань, перші п'ять оцінюються по 1 балу і є теоретичними, останнє питання – задача оцінюється в 5 балів.

Оцінювання роботи проводиться за наступною шкалою:

Теоретичні питання (1-5 завдання)

- виконання завдання в повному обсязі з наявністю елементів творчого підходу з бездоганним оформленням – **1 бал**;
- наявність зауважень щодо повноти, грамотності і охайності при оформленні відповідей завдання – **0,5 – 0,9 бала**;
- суттєві зауваження щодо повноти висвітлення і оформлення завдання – **0 – 0,5 бала**.

Розв'язання задачі (6 завдання):

- безпомилкове виконання розрахункового завдання або розрахунок з деякими математичними похибками – **4 – 5 бала**;
- проведення розрахункових вправ зі значущими помилками хімічного, стехіометричного чи математичного характеру – **1 – 3 бала**;
- проведення розрахункових вправ з грубими помилками - **0 балів**.

Всього за даний вид роботи можливо отримати 1 бал × 5 + 5 балів × 1 = **10 балів**.

3. Календарний контроль для здобувачів вищої освіти данного рівня в цьому семестрі не проводиться.

4. Семестровий контроль: залік.

Умовою допуску до заліку є зарахування всіх лабораторних робіт, написання модульної контрольної роботи та виконання домашньої контрольної роботи. Для отримання заліку з дисципліни потрібно мати рейтинг не менше 60 балів. Оголошення сумарного рейтингу проводиться на останньому лекційному занятті.

Студенти, які наприкінці семестру отримали допуск до заліку, але мають рейтинг менше 60 балів, а також ті, хто хоче підвищити оцінку в системі ECTS, виконують письмову залікову контрольну роботу.

У випадку виконання залікової контрольної роботи рейтингова оцінка студента визначається як сума балів за залікову контрольну роботу та балів, отриманих за виконання індивідуального семестрового завдання – розрахунково-графічної роботи.

У разі отримання оцінки, більшої, ніж “автоматом” з рейтингу, студент отримує оцінку за результатами залікової контрольної роботи з урахуванням балів, отриманих за виконання РГР. У разі отримання оцінки меншої, ніж “автоматом” з рейтингу, попередній рейтинг студента скасовується і він отримує оцінку тільки за результатами залікової контрольної роботи з урахуванням балів, отриманих за виконання РГР.

Залікова контрольна робота виконується у вигляді тесту, розташованого на платформі Moodle (<https://do.ipk.kpi.ua/course/view.php?id=4880>) містить сорок запитань (2 бали за кожне питання). Кількість балів за тест розраховується як сума балів за кожне питання.

Оцінювання роботи проводиться за наступною шкалою:

- повна правильна відповідь – **2 бали**;
- невірна відповідь – **0 балів**.

Ваговий бал – 2 бала × 40 питань = **80 балів**.

Умовою допуску до заліку є зарахування всіх лабораторних практикумів, написання МКР, виконання та захист розрахунково-графічної роботи та кількість рейтингових балів не менше 35 балів.

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

Перелік матеріалів, якими дозволено користуватись під час заліку – під час заліку студенту заборонено використовувати будь-які допоміжні матеріали та літературу. За порушення вимог студенти усуваються від заліку.

Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):

Складено доцентом кафедри Технології електрохімічних виробництв к.т.н., доц. Фроленковою С.В.

Ухвалено кафедрою Технології електрохімічних виробництв (протокол № 18 від 24.06.2024р.)

Погоджено Методичною комісією факультету (протокол № 9 від 21.06.2024 р.)