



# ВИРОБНИЦТВО ХІМІЧНИХ ПРОДУКТІВ ЕЛЕКТРОЛІЗОМ

## Робоча програма освітнього компонента (Силабус)

### Реквізити освітнього компонента

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 ECTS / 120 годин</i>
Семестровий контроль/ контрольні заходи	<i>Залік / МКР, РГР</i>
Розклад занять	<i>1 лекція (2 години) 1 раз на два тижні; 1 лабораторна робота (6 годин) 1 раз на 2 тижні</i>
Мова викладання	<i>Українська</i>
Інформація про керівника курсу / викладачів	<i>Лектор: к.т.н., доцент Косогін Олексій Володимирович, kosohin.oleksii@ill.kpi.ua, Telegram @Kosohin Лабораторні: к.т.н., доцент Косогін Олексій Володимирович, kosohin.oleksii@ill.kpi.ua, Telegram @Kosohin;</i>
Розміщення курсу	<i>Google Classroom (Google G Suite for Education, домен LLL.kpi.ua, платформа Sikorsky-distance); доступ за запрошенням викладача</i>

### Програма освітнього компонента

#### 1. Опис освітнього компонента, його мета, предмет вивчення та результати навчання

*Силабус освітнього компонента «Виробництво хімічних продуктів електролізом» складено відповідно до освітньої програми «Електрохімічні технології неорганічних і органічних матеріалів» спеціальності 161 Хімічні технології та інженерія.*

*Освітній компонент «Виробництво хімічних продуктів електролізом» є вибіркоким з Ф-каталогу, і знайомить студентів з одним із напрямків практичного використання електрохімії, пов'язаним із отриманням неорганічних речовин різного призначення, який набув широкого використання в сучасній промисловості та дозволяє забезпечити сталий розвиток промисловості. Студенти отримують знання, необхідні для роботи в галузі водневої енергетики, синтезі основних неорганічних речовин, що визначають розвиток хімічної промисловості взагалі; синтезі дезінфектантів широкого спектру дії.*

*Метою освітнього компонента є формування у студентів здатностей: (K02) здатність використовувати знання у практичних ситуаціях; (K11) здатність проектувати хімічні процеси з урахуванням технічних, законодавчих та екологічних обмежень; (K12) здатність використовувати сучасні матеріали, технології і конструкції апаратів в хімічній інженерії; (K17) здатність використовувати фундаментальні закономірності електрохімії для вирішення*

технологічних задач; (K18) здатність використовувати сучасні матеріали у електрохімічних технологічних процесах.

**Предмет освітнього компонента** – технологічні процеси отримання неорганічних і органічних речовин електрохімічними методами.

**Програмні результати навчання, на формування та покращення яких спрямований освітній компонент:** (ПР06) Розуміти основні властивості конструкційних матеріалів, принципи та обмеження їх застосування в хімічній інженерії; (ПР08) Використовувати сучасні обчислювальну техніку, спеціалізоване програмне забезпечення та інформаційні технології для розв'язання складних задач і практичних проблем у галузі хімічної інженерії, зокрема, для розрахунків устаткування і процесів хімічних виробництв; (ПР16) Розуміти основні технологічні способи одержання хімічних продуктів електролізом.

## **2. Пререквізити та постреквізити освітнього компонента (місце в структурно-логічній схемі навчання за відповідною освітньою програмою)**

Для успішного засвоєння освітньої компоненти студенту необхідні знання та уміння, що були отримані під час вивчення освітніх компонент «Загальна та неорганічна хімія», «Процеси і апарати хімічних технологій», «Загальна хімічна технологія».

Освітній компонент «Виробництво хімічних продуктів електролізом» є одним із заключних в циклі професійної підготовки, та підсилює компетентності, набуті в процесі вивчення нормативних освітніх компонент циклу професійної підготовки. Освітні компоненти, які базуються на результатах навчання: компоненти з циклу професійної підготовки, в рамках яких необхідний вибір та розрахунок обладнання для електрохімічних виробництв «Основи проектування хімічних виробництв», «Переддипломна практика», «Дипломне проектування».

## **3. Зміст освітнього компонента**

### **РОЗДІЛ 1. Предмет і задачі.**

*Тема 1.1. Розвиток електрохімічної технології отримання неорганічних речовин електролізом. Сучасний стан і перспективи розвитку електрохімічних виробництв у хімічній промисловості. Основні напрямки розвитку техніки електролізу в хімічній промисловості. Шляхи підвищення економічності електрохімічних виробництв.*

### **РОЗДІЛ 2. Основні засади технологічних процесів у електрохімічних виробництвах.**

*Тема 2.1. Основні елементи і поняття електрохімічних виробництв.*

Основні елементи і поняття електрохімічного виробництва продуктів в хімічній промисловості. Електроди. Діафрагми. Електроліти.

*Тема 2.2. Енергетика електрохімічних виробництв. Організація промислового електролізу.*

Баланс напруги: теоретична напруга розкладання розчинів і розрахунок її з електродних рівноважних потенціалів і з термодинамічних даних, перенапруга виділення продуктів на електродах, падіння напруги в електролітах, діафрагмах, провідниках першого роду. Витрати електроенергії і шляхи їх зниження. Економічна густина струму.

Промисловий електроліз: схеми підключення електролізерів, конструкції електролізерів, компонування цеху електролізу, джерело постійного струму, основи електробезпеки.

### **РОЗДІЛ 3. Виробництво водню і кисню електролізом води**

*Тема 3.1. Теоретичні основи процесу.*

Водень і кисень як хімічна сировина, методи їх отримання. Теоретичні основи електролізу води. Основні процеси та закономірності при одержанні водню і кисню електролізом. Побічні процеси при електролізі води. Вихід за струмом. Робоча напруга при електролізі води: теоретична напруга розкладу води, перенапруга водню і кисню, падіння напруги в електроліті і діафрагмі. Газонаповнення електроліту. Конструкції і матеріали електродів. Енергетичний і тепловий баланси ванн. Електроліз води під тиском.

*Тема 3.2. Апаратурне оформлення процесу*

Апаратурне оформлення виробництва води і кисню електролізом води. Електролізери для розкладання води: моно- і біполярні конструкції. Регулювання тиску газів і рівню електроліту в електролізері. Технологічна схема виробництва.

### *Тема 3.3. Шляхи підвищення економічності*

Шляхи підвищення економічності виробництва водню електролізом. Виробництво важкої води. Високотемпературний електроліз із твердим електролітом. Електроліз із полімерними мембранами. Застосування термохімічних циклів.

## **РОЗДІЛ 4. Електрохімічне виробництво хлору, лугу та водню**

### *Тема 4.1. Динаміка розвитку, сировина, перспективи. Теоретичні основи процесу*

Промислові методи виробництва хлору і лугів, галузі їх використання. Динаміка і перспективи розвитку хлорних виробництв. Сировина.

Теоретичні основи електролізу розчинів хлориду натрію. Діаграма Пурбе для хлору. Основні і побічні процеси. Кінетика анодного виділення хлору і проблема анодного матеріалу. Виробництво ОРТА і графітових анодів.

### *Тема 4.2. Діафрагмовий метод виробництва*

Електроліз з фільтруючою діафрагмою: принцип роботи, вплив швидкості руху електроліту на вихід за струмом, розрахунок складу католіту. Діафрагми. Азбopolімерні діафрагми. Вибір умов електролізу. Баланс напруги. Тепловий і енергетичні баланси. Моно- і біполярні конструкції електролізерів з осажденою діафрагмою. Особливості експлуатації електролізерів з фільтруючою діафрагмою і анодами ОРТА. Шляхи інтенсифікації електролізерів з осажденою діафрагмою .

### *Тема 4.3. Мембранний метод виробництва*

Електроліз з катіонообмінною мембраною. Властивості іонообмінних мембран і їх технічні характеристики. Модифікація мембран. Вплив умов електролізу, складу електроліту і католіту на вихід за струмом лугу. Вибір оптимальних умов електролізу з іонообмінними мембранами. Моно- і біполярні конструкції електролізерів з іонообмінними мембранами. Перспективні галузі використання іонообмінних мембран в електрохімічних процесах. Шляхи вдосконалення мембранних технологій в електрохімічних виробництвах.

### *Тема 4.4. Ртутний метод виробництва*

Електроліз ртутним методом. Основні і побічні процеси на ртутному катоді. Вплив домішок на кінетику виділення водню. Кінетика відновлення активних форм хлору. Катодний вихід за струмом натрію. Напруга електролізу, витрати електроенергії. Розкладання амальгам натрію в короткозамкненому елементі. Конструкція і принцип дії електролізерів і розкладників. Поведінка ртуті в умовах отримання лугів і хлору. Витрати ртуті і шляхи їх зниження.

### *Тема 4.5. Технологічні схеми. Порівняння техніко-економічних показників, шляхи вдосконалення. Виробництво хлору електролізом абгазної хлоридної кислоти*

Технологічні схеми виробництва діафрагмовим, мембранним і ртутним методами. Вимоги до розсолу. Апаратурне оформлення стадій очистки розсолу, обробки лугу, хлору, стічних вод. Конструкційні матеріали.

Порівняння техніко-економічних показників діафрагмового, мембранного і ртутного методів виробництва, шляхи їх підвищення. Перспективи розвитку хлорної промисловості.

Електроліз хлоридної кислоти з отриманням хлору і водню. Проблема абгазної хлоридної кислоти. Теоретичні основи електролізу. Шляхи зниження витрат електроенергії. Конструкція електролізерів. Технологічна схема виробництва.

## **РОЗДІЛ 5. Виробництво оксигенвмісних сполук хлору**

### *Тема 5.1. Виробництво гіпохлориту натрію*

Отримання гіпохлориту натрію. Основні і побічні процеси. Вихід за струмом. Раціональні умови електролізу. Технологічна схема виробництва.

### *Тема 5.2. Виробництво хлоратів*

Виробництво хлоратів натрію та калію. Їх застосування. Електродні процеси. Оптимальні умови електролізу. Електролізери. Технологічна схема.

### *Тема 5.3. Виробництво перхлорату натрію. Виробництво перхлоратної кислоти.*

Виробництво хлорної кислоти і перхлоратів. Основні і побічні процеси. Конструкція електролізерів. Технологічна схема виробництва перхлоратів. Техніка безпеки в виробництвах оксигенвмісних сполук хлору.

#### **РОЗДІЛ 6. Виробництво пероксосполук**

*Тема 6.1. Виробництво пероксодисульфатної кислоти і отримання гідроген пероксиду.*

Основні і побічні процеси при електролізі сульфатної кислоти. Гідроліз пероксодисульфатної кислоти. Отримання гідроген пероксиду. Конструкції електролізерів. Технологічна схема отримання гідроген пероксиду.

#### **РОЗДІЛ 7. Виробництво сполук мангану**

*Тема 7.1. Виробництво перманганату калію*

Виробництво перманганату калію електрохімічним та комбінованим методами. Основні і побічні процеси. Вихід за струмом. Раціональні умови електролізу. Технологічні схеми.

*Тема 7.2. Виробництво манган (IV) оксиду*

Електросинтез манган (IV) оксиду. Основні і побічні процеси. Раціональні умови отримання. Технологічна схема.

### **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 заняттях.*

#### **Базова література:**

1. Горбачов А.К. *Технічна електрохімія. Ч.1. Електрохімічні виробництва хімічних продуктів.* – Харків : Видавництво "Прапор", 2002. - 254с.
2. Панасенко В.Ф., Яцюк Л.А., Лінючева О.В., Погребова І.С., Косогін О.В. *Виробництво хімічних продуктів електролізом: основне обладнання та приклади розрахунків: навч. посіб.* – К.: НТУУ «КПІ», 2012. – 156 с.
3. *Виробництво хімічних продуктів електролізом. Лабораторний практикум [Електронний ресурс] : навчальний посібник для студентів, які навчаються за освітньою програмою «Електрохімічні технології неорганічних і органічних матеріалів» спеціальності 161 «Хімічні технології та інженерія» / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: О. В. Косогін. - Електронні текстові дані (1 файл: 1.45 Мбайт). - Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. - 108 с. - Назва з екрана.*
4. *Виробництво хімічних продуктів електролізом. Практикум [Електронний ресурс] : навчальний посібник для студентів, які навчаються за освітньою програмою «Електрохімічні технології неорганічних і органічних матеріалів» спеціальності 161 «Хімічні технології та інженерія» / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: О. В. Косогін. - Електронні текстові дані (1 файл: 1.44 Мбайт). - Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. - 86 с. - Назва з екрана.*
5. *Виробництво хімічних продуктів електролізом. Навчальний посібник для виконання розрахунково-графічних робіт [Електронний ресурс] : навчальний посібник для студентів, які навчаються за освітньою програмою «Електрохімічні технології неорганічних і органічних матеріалів» спеціальності 161 «Хімічні технології та інженерія» / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: О. В. Косогін. - Електронні текстові дані (1 файл: 1.46 Мбайт). - Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. - 99 с. - Назва з екрана.*

#### **Додаткова література**

6. Thomas F. Fuller & John N.Harb. *Electrochemical engineering / Hoboken,NJ, USA: Wiley, 2018.* – 436 p.
7. *Hydrogen Production by Electrolysis / Edited by Agata Godula-Jopek. - Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. 2015 – 425 p.*
8. Thomas F. O'Brien, Tilak V. Bommaraju, Fumio Hine. *Handbook of Chlor-Alkali Technology Volume I: Fundamentals / Springer New York, NY, 2005.* – 1580 p.

9. *Modern Chlor-Alkali Technology*. Vol. 8 / Edited by John Moorhouse. *Proceedings of the 2000 London*. – 436 p.
10. Czarnetzki, L. R. (1989). *Aspects of electrochemical production of hypochlorite and chlorate / Technische Universiteit Eindhoven*. DOI: 10.6100/IR316966.
11. Saiful Arifin Shafiee, Jolyon Aarons, and Hairul Hisham Hamzah *Review - Electroreduction of Peroxodisulfate: A Review of a Complicated Reaction // Journal of The Electrochemical Society*, 165 (13) H785-H798 (2018).

### Інформаційні ресурси

12. 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 **vgtxgzl**.

## Навчальний контент

### 5. Методика опанування освітнього компонента

#### Лекційні заняття

Проведення лекцій з дисципліни проводиться паралельно з розглядом питань, що виносяться на самостійну роботу. У випадку впровадження дистанційної форми навчання при проведенні лекцій застосовуються засоби для відеоконференцій (*Google Meet, Zoom* тощо) та ілюстративний матеріал у вигляді презентацій, які розміщені на платформі *Sikorsky-distance* [9]. Після кожної лекції рекомендується ознайомитись з матеріалами, рекомендованими для самостійного вивчення, а перед наступною лекцією – повторити матеріал попередньої.

№ з/п	Назва теми лекції та перелік основних питань
1	<p><u>Предмет і задачі дисципліни. Основні елементи і поняття промислового електролізу.</u></p> <p><b>РОЗДІЛ 1. Предмет і задачі.</b></p> <p>Тема 1.1. Розвиток електрохімічної технології отримання неорганічних речовин електролізом.</p> <p>Мета і задачі дисципліни, її зв'язок з іншими дисциплінами освітньої програми “Електрохімічні технології неорганічних і органічних матеріалів”. Сучасний стан і перспективи розвитку електрохімічних виробництв у хімічній промисловості. Основні напрямки розвитку техніки електролізу в хімічній промисловості.</p> <p><b>РОЗДІЛ 2. Основні засади технологічних процесів у електрохімічних виробництвах.</b></p> <p>Тема 2.1. Основні елементи і поняття електрохімічних виробництв.</p> <p>Основні елементи і поняття електрохімічних виробництв продуктів в хімічній промисловості. Електроди. Діафрагми. Електроліти.</p>
2	<p><u>Виробництво водню і кисню електролізом води.</u></p> <p><b>РОЗДІЛ 3. Виробництво водню і кисню електролізом води</b></p> <p>Тема 3.1. Теоретичні основи процесу.</p> <p>Електроліз води. Водень і кисень як хімічна сировина, методи їх отримання. Теоретичні основи електролізу води. Основні процеси та закономірності при одержанні водню і кисню електролізом. Побічні процеси при електролізі води. Вихід за струмом. Напруга на ванні при електролізі води: теоретична напруга розкладу води, перенапруга водню і кисню, падіння напруги в електроліті і діафрагмі. Газонаповнення електроліту. Енергетичний і тепловий баланси ванн. Електроліз води під тиском.</p>
3	<p><u>Апаратурне оформлення процесу електролізу води. Шляхи підвищення економічності процесу електролізу води.</u></p> <p><b>РОЗДІЛ 3. Виробництво водню і кисню електролізом води</b></p> <p>Тема 3.2. Апаратурне оформлення процесу</p> <p>Конструкція електролізерів для електролізу води: моно- і біполярні конструкції. Подача води до ванн. Регулювання тиску газів і рівню електроліту в ванні.</p>

	<p>Тема 3.3. Шляхи підвищення економічності Високотемпературний електроліз із твердим електролітом, електроліз із іонообмінними мембранами.</p> <p>Тематична контрольна робота 1 (за розділами 1-3)</p>
4	<p><u>Електрохімічне виробництво хлору, лугу та водню. Діафрагмовий метод виробництва. Мембранний метод виробництва.</u></p> <p><b>РОЗДІЛ 4. Електрохімічне виробництво хлору, лугу та водню</b></p> <p>Тема 4.1. Динаміка розвитку, сировина, перспективи. Теоретичні основи процесу Промислові методи виробництва хлору і лугів, галузі їх використання. Динаміка і перспективи розвитку хлорних виробництв. Сировина. Теоретичні основи електролізу розчинів хлориду натрію. Діаграма Пурбе для хлору. Основні і побічні процеси. Кінетика анодного виділення хлору і проблема анодного матеріалу.</p> <p>Тема 4.2. Діафрагмовий метод виробництва Електроліз з твердим анодом і фільтруючою діафрагмою: принцип роботи, вплив швидкості руху електроліту на вихід за струмом, розрахунок складу католіту. Вибір умов електролізу. Баланс напруги. Тепловий і енергетичні баланси. Моно- і біполярні конструкції електролізерів з осажденою діафрагмою. Особливості експлуатації електролізерів з фільтруючою діафрагмою і анодами ОПТА.</p> <p>Тема 4.3. Мембранний метод виробництва Властивості іонообмінних мембран і їх технічні характеристики. Модифікація мембран. Вплив умов електролізу, складу електроліту і католіту на вихід за струмом лугу. Вибір оптимальних умов електролізу з іонообмінними мембранами. Моно- і біполярні конструкції електролізерів з іонообмінними мембранами. Шляхи вдосконалення мембранних технологій в електрохімічних виробництвах.</p>
5	<p><u>Ртутний метод виробництва. Порівняння техніко-економічних показників методів виробництва. Виробництво хлору електролізом абгазної хлоридної кислоти.</u></p> <p><b>РОЗДІЛ 4. Електрохімічне виробництво хлору, лугу та водню</b></p> <p>Тема 4.4. Ртутний метод виробництва Основні і побічні процеси на ртутному катоді. Вплив домішок на кінетику виділення водню. Кінетика відновлення активних форм хлору. Катодний вихід за струмом натрію. Напруга електролізу, витрати електроенергії. Розкладання амальгам натрію в короткозамкненому елементі. Конструкція і принцип дії електролізерів і розкладників.</p> <p>Тема 4.5. Технологічні схеми. Порівняння техніко-економічних показників, шляхи вдосконалення. Виробництво хлору електролізом абгазної хлоридної кислоти Технологічні схеми і апаратурне оформлення виробництва лугу і хлору. Вимоги до розсолу. Апаратурне оформлення стадій очищення розсолу, обробки лугу, хлору, стічних вод.</p> <p>Порівняння техніко-економічних показників діафрагмового, мембранного і ртутного методів виробництва, шляхи їх удосконалення. Теоретичні основи електролізу абгазної хлоридної кислоти. Шляхи зниження витрат електроенергії. Конструкція електролізерів. Технологічна схема виробництва.</p> <p>Тематична контрольна робота 2 (за розділом 4)</p>
6	<p><u>Електрохімічний синтез оксигенвмісних сполук хлору.</u></p> <p><b>РОЗДІЛ 5. Виробництво оксигенвмісних сполук хлору</b></p> <p>Тема 5.1. Виробництво гіпохлориту натрію Отримання гіпохлориту натрію. Основні і побічні процеси. Вихід за струмом. Раціональні умови електролізу.</p> <p>Тема 5.2. Виробництво хлоратів Виробництво хлоратів. Основні і побічні процеси. Вихід за струмом. Раціональні умови електролізу. Технологічна схема виробництва.</p>
7	<p><u>Електрохімічний синтез оксигенвмісних сполук хлору.</u></p>

	<p><b>РОЗДІЛ 5. Виробництво оксигенвмісних сполук хлору</b>  <i>Тема 5.3. Виробництво перхлорату натрію. Виробництво перхлоратної кислоти. Виробництво перхлоратної кислоти і перхлоратів. Основні і побічні процеси. Конструкція електролізерів. Технологічна схема виробництва перхлоратів.</i></p>
8	<p><i>Виробництво пероксосполук.</i>  <b>РОЗДІЛ 6. Виробництво пероксосполук</b>  <i>Тема 6.1. Виробництво пероксодисульфатної кислоти і отримання гідроген пероксиду. Виробництво пероксодисульфатної кислоти і отримання гідроген пероксиду. Основні і побічні процеси при електролізі сульфатної кислоти. Гідроліз пероксодисульфатної кислоти. Отримання гідроген пероксиду. Конструкції електролізерів. Технологічна схема отримання гідроген пероксиду.</i></p> <p><i>Тематична контрольна робота 3 (за розділами 5-6)</i></p>
9	<p><i>Виробництво сполук мангану.</i>  <b>РОЗДІЛ 7. Виробництво сполук мангану</b>  <i>Тема 7.1. Виробництво перманганату калію</i>  <i>Виробництво перманганату калію. Основні і побічні процеси. Вихід за струмом. Раціональні умови електролізу.</i>  <i>Тема 7.2. Виробництво манган (IV) оксиду</i>  <i>Електросинтез манган (IV) оксиду. Основні і побічні процеси. Раціональні умови отримання.</i></p> <p><i>Оголошення рейтингу</i>  <i>Залікова контрольна робота (за необхідності)</i></p>

### **Лабораторні роботи**

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

№ з/п	Назва лабораторної роботи, мета виконання
1	<p><b>Лабораторна робота №1. Електроліз води</b>  <i>Мета роботи – ознайомитись з технологічними питаннями процесу електролізу води; провести випробування лабораторного електролізера з метою отримання даних для складання балансів (матеріального, напруги, енергії); визначити виходи за струмом і витратні коефіцієнти.</i>            (РОЗДІЛ 3. Виробництво водню і кисню електролізом води)</p>
2	<p><b>Лабораторна робота №2. Електрохімічне отримання хлору, луку та водню</b>  <i>Мета роботи – ознайомитись з електрохімічним способом отримання хлору, луку та водню електролізом розчину натрій хлориду, з методами контролю технологічного процесу, технологічними розрахунками та дослідити вплив умов електролізу на показники процесу.</i>            (РОЗДІЛ 4. Електрохімічне виробництво хлору, луку та водню)</p>
3	<p><b>Лабораторна робота №3. Електрохімічне отримання гіпохлоритів та хлоратів</b>  <i>Мета роботи – отримати хлорати лужних металів (<math>KClO_3</math> чи <math>NaClO_3</math>) електролізом розчинів їх хлоридів в електролізері із твердими електродами; визначити вихід за струмом і концентрацію в електроліті гіпохлоритів і хлоратів лужних металів; дослідити вплив умов електролізу на технологічні параметри.</i>            (РОЗДІЛ 5. Виробництво оксигенвмісних сполук хлору)</p>
4	<p><b>Лабораторна робота №4. Електрохімічне отримання плюмбум (IV) оксиду</b>  <i>Мета роботи – ознайомитись з технологічними питаннями процесу отримання плюмбум (IV) оксиду; провести випробування лабораторного електролізера з метою визначення виходу за струмом і витратних коефіцієнтів.</i>            (РОЗДІЛ 2. Основні засади технологічних процесів у електрохімічних виробництвах)</p>

5	<b>Лабораторна робота №5. Електрохімічне отримання калій пероксодисульфату</b> <u>Мета роботи</u> – отримати калій пероксодисульфат на лабораторній установці; набуті навички з контролю технологічного процесу; визначити продуктивність лабораторного електролізера, вихід за струмом та питомі витрати електроенергії та встановити їх зв'язок із вихідними умовами електролізу. (РОЗДІЛ 6. Виробництво пероксосполук)
6	<b>Лабораторна робота №6. Електрохімічне отримання манган (IV) оксиду ЕДМ-1</b> <u>Мета роботи</u> – ознайомитись з електрохімічним способом отримання манган (IV) оксиду модифікації ЕДМ-1; дослідити вплив умов електролізу на вихід за струмом $MnO_2$ та питомі витрати електроенергії. (РОЗДІЛ 7. Виробництво сполук мангану)
7	<b>Лабораторна робота №7. Електрохімічне отримання манган (IV) оксиду ЕДМ-2</b> <u>Мета роботи</u> – ознайомитись з електрохімічним способом отримання манган (IV) оксиду модифікації ЕДМ-2; дослідити вплив умов електролізу на вихід за струмом $MnO_2$ та питомі витрати електроенергії. (РОЗДІЛ 7. Виробництво сполук мангану)
8	<b>Лабораторна робота №8. Електрохімічне отримання перманганатів</b> <u>Мета роботи</u> – ознайомитись з технологічними питаннями процесу електрохімічного отримання калій перманганату, вивчити вплив умов електролізу на вихід за струмом, речовиною та питомі витрати електроенергії при його отриманні. (РОЗДІЛ 7. Виробництво сполук мангану)
9	<b>Лабораторна робота №9. Електрохімічне отримання купрум (I) оксиду</b> <u>Мета роботи</u> – ознайомитись з електрохімічним способом отримання купрум (I) оксиду; дослідити вплив умов електролізу на вихід за струмом купрум (I) оксиду, якість продукту та питомі витрати електроенергії. (РОЗДІЛ 2. Основні засади технологічних процесів у електрохімічних виробництвах)

## 6. Самостійна робота студента/аспіранта

Самостійна робота студента (СРС) протягом семестру включає повторення лекційного матеріалу, проведення розрахунків та оформлення звітів з лабораторних робіт; підготовка до тематичних контрольних робіт (складові модульної контрольної роботи - МКР); виконання розрахунково-графічної роботи; підготовка до залікової контрольної роботи (у випадку необхідності її виконання). Рекомендована кількість годин, яка відводиться на підготовку до зазначених видів робіт:

Вид СРС	Кількість годин на підготовку
Підготовка до аудиторних занять: повторення лекційного матеріалу; проведення розрахунків та оформлення звітів з лабораторних робіт	3 – 4 години на тиждень
Виконання розрахунково-графічної роботи (РГР)	10
Підготовка до МКР (повторення матеріалу)	6 годин

Завдання на розрахунково-графічну роботу видається через два місяці після початку семестру, на виконання завдань студентам виділяється 6 тижнів.

## Політика та контроль

### 7. Політика освітнього компонента

У звичайному режимі роботи університету лекційні та лабораторні заняття проводяться в навчальних аудиторіях. У змішаному режимі лекційні заняття проводяться через платформу дистанційного навчання Сікорський, лабораторні заняття – в навчальних лабораторіях. У



дистанційному режимі всі заняття проводяться через платформу дистанційного навчання Сікорський. Відвідування лекційних та лабораторних занять є обов'язковим.

Після завершення семестру і початку екзаменаційної сесії приймання робіт не проводиться.

*Система вимог, які викладач ставить перед студентом:*

- *правила відвідування занять: заборонено оцінювати присутність або відсутність здобувача на аудиторному занятті, в тому числі нараховувати заохочувальні або штрафні бали. Відповідно до РСО даної дисципліни бали нараховують за відповідні види навчальної активності на лабораторних заняттях.*
- *правила поведінки на заняттях: студент має можливість отримувати бали за відповідні види навчальної активності на лабораторних заняттях, передбачені РСО дисципліни. Використання засобів зв'язку для пошуку інформації на гугл-диску викладача, в інтернеті, в дистанційному курсі на платформі Сікорський здійснюється за умови вказівки викладача;*
- *політика дедлайнів та перескладань: якщо студент не проходив або не з'явився на МКР без поважної причини, його результат оцінюється у 0 балів. Перескладання результатів МКР не передбачено;*
- *політика щодо академічної доброчесності: Кодекс честі Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут» <https://kpi.ua/files/honorcode.pdf> встановлює загальні моральні принципи, правила етичної поведінки осіб та передбачає політику академічної доброчесності для осіб, що працюють і навчаються в університеті, якими вони мають керуватись у своїй діяльності;*
- *при використанні цифрових засобів зв'язку з викладачем (мобільний зв'язок, електронна пошта, переписка на форумах та у соцмережах тощо) необхідно дотримуватись загальноприйнятих етичних норм, зокрема бути ввічливим та обмежувати спілкування робочим часом викладача.*

*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 по темі 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 недопуску до виконання наступної лабораторної роботи.*

*Правила призначення заохочувальних та штрафних балів:*

1. *У випадку порушення термінів подачі розрахунково-графічної роботи кількість балів за неї зменшується на 5 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)**

*Поточний контроль: виконання та захист лабораторних робіт, написання 3 тематичних контрольних робіт (1 модульна контрольна робота з огляду на великий обсяг матеріалу розділена на три тематичні).*

### **Рейтингова система оцінювання результатів навчання**

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

- виконання та захист 8 лабораторних робіт - в звичайному та змішаному режимах роботи Університету, або 5 лабораторних робіт - в дистанційному режимі роботи Університету;
- виконання розрахунково-графічної роботи;
- виконання модульної контрольної роботи, яка складається з трьох тематичних контрольних робіт.

### **Критерії нарахування балів:**

#### **1. Лабораторні роботи**

##### **1.1. в звичайному та змішаному режимах роботи Університету**

*Ваговий бал – 5 балів. Бали за лабораторну роботу розраховуються як сума балів за виконання окремих етапів роботи – допуск і власне виконання (3 бали), та якість оформленого протоколу і захисту роботи (2 бали).*

#### **Допуск та виконання лабораторної роботи**

- при перевірці готовності до ЛР надаються вірні і вичерпні відповіді; підготовлено в повному обсязі схему протоколу лабораторної роботи; безпомилкове виконання завдання ЛР в повному обсязі з наявністю елементів творчого підходу при безумовному додержанні правил і норм техніки безпеки - 3 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 - 2 бали;
- 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 ЛР; бездоганне оформлення протоколу та інших матеріалів - 2 бали (не менше 90 % потрібної інформації);
- не зовсім повне оволодіння знаннями і вміннями за підсумками виконання ЛР; зауваження щодо повноти і якості оформлення протоколу - 1,5 бали (не менше 75 % потрібної інформації);
- наявність суттєвих зауважень щодо повноти, грамотності і охайності при оформленні матеріалів з виконаної ЛР - 1 бал (не менше 60 % потрібної інформації);
- значні зауваження щодо повноти і оформлення протоколу; неспроможність дати відповідь по виконаній роботі - 0 балів.

##### **1.2. в дистанційному режимі роботи Університету**

*Ваговий бал – 8 балів. Бали за лабораторну роботу розраховуються як сума балів за виконання окремих етапів роботи – допуск (1,0 бал), участь у виконанні роботи та виконання необхідних розрахунків (2,0 бали), якість оформленого протоколу (1,0 бал), та захист роботи (4 бали).*

#### **Допуск до роботи**

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

#### **Участь у виконанні лабораторної роботи та виконання необхідних розрахунків**

- здатність пояснити усі необхідні операції; вчасне надання необхідних розрахунків; усі розрахунки виконані правильно в повному обсязі - 2 бали;
- утруднення при формулюванні вірних відповідей щодо ходу роботи та допоміжних операцій; усі розрахунки подано вчасно, але є зауваження щодо правильності виконання - 1,5 бали;
- студент надає відповідь тільки після отримання підказки з боку інших студентів або викладача; розрахунки подано вчасно, але є зауваження щодо правильності та повноти виконання; або розрахунки подані в повному обсязі, але із порушенням термінів надання - 1 бал;
- неспроможність надати пояснення щодо ходу роботи; розрахунки подані невчасно та наявні зауваження щодо їх повноти та правильності виконання - 0 балів;

#### **Якість оформленого протоколу**

- бездоганне оформлення протоколу та інших матеріалів - 1 бал;
- зауваження щодо повноти і якості оформлення протоколу - 0,5 бали;
- суттєві зауваження щодо повноти, грамотності і охайності при оформленні протоколу ЛР - 0 балів;

#### **Захист лабораторної роботи**

- Захист полягає у виконанні тесту з 8 або 10 завдань, в яких з чотирьох відповідей необхідно обрати одну правильну. Кожна правильна відповідь оцінюється відповідно в 0,5 або 0,4 бала

### **2. Тематична контрольна робота (ТКР)**

Ваговий бал – **8 балів**. Кожне завдання на ТКР складається з двох питань теоретичного характеру. Кількість балів за ТКР розраховується як сума балів за кожне питання завдання, яке має **ваговий бал 4**. Оцінювання роботи проводиться за наступною шкалою:

- бездоганна відповідь на завдання при наявності елементів продуктивного (творчого) підходу; демонстрація вміння впевненого застосування фундаментальних знань з хімії при відповіді на контрольне завдання – 4,0 бали (не менше 90 % потрібної інформації);
- загалом вірна відповідь, наявність 1-2 помилок при відповіді на контрольне завдання – 3,0 бали (не менше 75 % потрібної інформації);
- наявність суттєвих помилок при відповіді на контрольне завдання – 2,0 бали (не менше 60 % потрібної інформації);
- наявність принципових помилок при відповіді на контрольне завдання - 0 балів.

### **3. Розрахунково-графічна робота (РГР)**

Ваговий бал – **36 балів**. Загальна оцінка з РГР складається з балів за виконання окремих теоретичних, розрахункових та графічних питань роботи.

**Оцінювання пункту «Характеристика основних продуктів виробництва та галузі їх використання».** Ваговий бал – **4,0 бали**.

- 3,5-4,0 бала (не менше 90 % потрібної інформації) - питання глибоко пророблено, аналіз стану здійснено за новітніми вітчизняними і зарубіжними джерелами інформації;
- 3,0 бала (не менше 75 % потрібної інформації) - неповна, але вірна, логічно побудована відповідь; аналіз здійснено в основному за навчальною літературою та застарілими джерелами (більше 10 років);
- 2,5 бала (не менше 60 % потрібної інформації) - неповна відповідь або відповідь з вельми принциповими помилками; відповідь являє собою конспективне перенесення літературних відомостей без додержання логічної побудови;
- 0 балів - наявність принципових помилок у відповіді.

**Оцінювання пункту «Сучасний стан технології виробництва продуктів електролізу».**

Ваговий бал – **8,0 балів**.

- 7,0-8,0 балів (не менше 90 % потрібної інформації) - питання глибоко пророблено, аналіз стану здійснено за новітніми вітчизняними і зарубіжними джерелами інформації;

- 6,0 балів (не менше 75 % потрібної інформації) - неповна, але вірна, логічно побудована відповідь; аналіз здійснено в основному за навчальною літературою та застарілими джерелами (більше 10 років);
- 5,0 балів (не менше 60 % потрібної інформації) - неповна відповідь або відповідь з вельми принциповими помилками; відповідь являє собою конспективне перенесення літературних відомостей без додержання логічної побудови;
- 0 балів - наявність принципових помилок у відповіді.

**Оцінювання пункту «Обґрунтований вибір і описання конструкції електролізера». Ваговий бал – 6,0 балів.**

- 5,5-6,0 балів - вірно обґрунтований вибір конструкції електролізера, надано детальний опис конструкції; виконаний з використанням засобів комп'ютерної графіки з дотриманням вимог ДСТУ;
- 4,5 бали - запропоновано застарілу конструкцію електролізера; помилки в описі конструкції; виконання на високому технічному рівні з дотриманням вимог ДСТУ;
- 3,5 бали - відсутній опис електролізера; є незначні відхилення від вимог ДСТУ; виконання на задовільному технічному рівні;
- 0 балів - графічний матеріал є ксерокопією або відсканованим зображенням з літератури з незадовільним рівнем виконання.

**Оцінювання пункту «Обґрунтований вибір і описання технологічної схеми». Ваговий бал – 5,0 балів.**

- 4,5-5,0 бали - надано детальний опис технологічної схеми; виконана з використанням засобів комп'ютерної графіки з дотриманням вимог ДСТУ;
- 4,0 бали - запропоновано застарілу технологічну схему; помилки в описі технологічної схеми; виконання на високому технічному рівні з дотриманням вимог ДСТУ;
- 3,0 бали - є незначні відхилення від вимог ДСТУ; виконання на задовільному технічному рівні;
- 0 балів - графічний матеріал є ксерокопією або відсканованим зображенням з літератури з незадовільним рівнем виконання.

**Оцінювання пункту «Розрахунок електролізера». Ваговий бал – 10,0 балів.**

- 9,0-10,0 балів - безпомилкове виконання розрахункового завдання або розрахунок з незначними погрешностями;
- 7,5 бала - вірний, загалом, розрахунок з деякими математичними чи стехіометричними помилками;
- 6,0 балів - виконання розрахункового завдання зі значущими помилками хімічного, стехіометричного чи математичного характеру;
- 0 балів - вирішення розрахункового завдання з помилками принципового характеру як наслідок слабких знань фундаментальних положень хімії;

**Якість оформлення РГР. Ваговий бал – 3,0 бали.**

- 3,0 бали - робота виконана українською мовою, матеріал викладений чітко, грамотно, оформлення роботи повністю відповідає вимогам до звітів НДР (ДСТУ 3008:2015); текст виконано з використанням текстового редактора;
- 2,5 бали - зауваження щодо повноти, акуратності, грамотності оформлення; оформлення з незначними відхиленнями від вимог ДСТУ;
- 2,0 бали - наявність суттєвих зауважень щодо повноти, грамотності, акуратності і охайності; незначне відхилення від вимог ДСТУ;
- 0 балів - оформлення з порушеннями вимог ДСТУ.

Календарний контроль: проводиться двічі на семестр як моніторинг поточного стану виконання вимог силябусу. Умовою отримання позитивної оцінки з календарного контролю є рейтинг студента 50 % від максимально можливого на час календарного контролю. На **першому календарному контролі** (8-й тиждень) студент отримує «атестований», якщо його поточний

рейтинг не менше  $0,5 \cdot 24^1 = 12$  балів. На **другому календарному контролі** (14-й тиждень) студент отримує «атестований», якщо його поточний рейтинг не менше  $0,5 \cdot 48^2 = 24$  балів.

Семестровий контроль: залік.

Умовою допуску до заліку є зарахування всіх лабораторних робіт, написання трьох ТКР та виконання розрахунково-графічної 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. Завдання контрольної роботи містить два теоретичних питання, завдання по технологічних схемах або конструкціям електролізерів, та задачу.

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.

Кожне питання/завдання залікової контрольної роботи оцінюється у 16 балів відповідно до системи оцінювання:

- повна відповідь на запитання з елементами оригінального, творчого підходу до пояснення прийнятих рішень, обґрунтування цих рішень на основі демонстрації вмінь залучати фундаментальні знання з хімії – **15-16 балів** (не менше 90 % потрібної інформації);
- повна і взагалі вірна відповідь на запитання з 1–5 незначними помилками або зауваженнями - **12-14 балів** (не менше 75 % потрібної інформації);
- взагалі вірна відповідь на запитання з 5–6 незначними помилками та 1–2 зауваженнями принципового характеру, пов’язаного з неповнотою знань з фундаментальних основ – **10-11 балів** (не менше 60 % потрібної інформації);
- незадовільна відповідь - **0 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 з освітньої компоненти

- Вимоги до оформлення та завдання для виконання розрахунково-графічної роботи, перелік запитань до МКР та для підготовки до залікової контрольної роботи наведені у Google Classroom «Виробництво хімічних продуктів електролізом» (платформа Sikorsky-distance).
- Під час контрольних заходів (написання тематичної контрольної роботи чи залікової контрольної роботи) студенту заборонено використовувати будь-які допоміжні

<sup>1</sup> Максимальна кількість балів, яку може набрати студент протягом 8 тижнів.

<sup>2</sup> Максимальна кількість балів, яку може набрати студент протягом 14 тижнів.

*матеріали та літературу. За порушення вимог результати виконання контрольного заходу анулюються.*

**Робочу програму освітнього компонента (силабус):**

**Складено** доцентом кафедри технології електрохімічних виробництв, к.т.н., доцентом Косогіним Олексієм Володимировичем.

**Ухвалено** кафедрою технології електрохімічних виробництв (протокол № 17 від 14.06.2024р.)

**Погоджено** Методичною комісією факультету (протокол № 10 від 21.06.2024р.)