



ВИРОБНИЦТВО ХІМІЧНИХ ПРОДУКТІВ ЕЛЕКТРОЛІЗОМ

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>Нормативна</i>
Форма навчання	<i>змішана</i>
Рік підготовки, семестр	<i>4 курс, осінній семестр</i>
Обсяг дисципліни	<i>8 кредитів (240 годин)</i>
Семестровий контроль/ контрольні заходи	<i>Екзамен усний; Курсова робота</i>
Розклад занять	<i>Лекції 2 години на тиждень (1 пара); практичні заняття 1 година на тиждень (0,5 пари); лабораторні заняття 2 години на тиждень (1 пара)</i>
Мова викладання	<i>Українська</i>
Інформація про керівника курсу / викладачів	Лектор: к.т.н., доцент Косогін Олексій Володимирович, kosohin.oleksii@Ill.kpi.ua , Telegram @Kosohin Практичні: 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; Керівник курсових робіт: к.т.н., доцент Косогін Олексій Володимирович, kosohin.oleksii@Ill.kpi.ua , Telegram @Kosohin
Розміщення курсу	<i>Google Classroom (Google G Suite for Education, домен LLL.kpi.ua, платформа Sikorsky-distance); доступ за запрошенням викладача</i>

Програма навчальної дисципліни

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

Дисципліна «Виробництво хімічних продуктів електролізом» знайомить студентів з одним із напрямків практичного використання електрохімії, 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 кредитного модуля є формування у студентів здатностей:

- здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях;
- знання та розуміння предметної області і професійної діяльності;
- вміння виявляти, ставити та вирішувати проблеми;
- здатність вчитися і оволодівати сучасними знаннями;

- здатність використовувати знання та розуміння загальної хімічної технології, процесів і апаратів хімічних виробництв для аналізу, оцінювання і проектування технологічних процесів і устаткування;
- здатність обирати і використовувати відповідне обладнання, інструменти та методи для реалізації та контролю хімічних виробництв;
- навички безпечного поводження з хімічними матеріалами, з урахуванням їх фізичних та хімічних властивостей, у тому числі, небезпек, пов'язаних з їх використанням.

Згідно з вимогами програми навчальної дисципліни студенти після засвоєння кредитного модуля мають продемонструвати такі результати навчання:

знання :

- теоретичних основ виробництва електролізом основних неорганічних речовин;
- технологічних схем виробництва продуктів, які отримують електролізом;
- технологічних та енергетичних розрахунків в виробництві хімічних продуктів електролізом;
- конструкційних та електродних матеріалів та основних конструкцій електролізерів;
- способів інтенсифікації електрохімічних виробництв та основних тенденцій і напрямків подальшого розвитку виробництва хімічних продуктів електролізом.

уміння:

- орієнтуватись у технічних і технологічних засобах реалізації промислових електрохімічних процесів різної природи;
- обґрунтовувати принципову технологічну схему електрохімічного виробництва;
- розраховувати оптимальні варіанти технологічних матеріальних і енерготеплових потоків у виробництві, оцінювати параметри основного технологічного устаткування для його оптимального вибору;
- проектувати головне устаткування для технологічного процесу.

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

Для успішного засвоєння дисципліни студенту необхідні знання та уміння, що були отримані під час вивчення дисциплін «Загальна та неорганічна хімія», «Фізична хімія», «Теоретична електрохімія», «Матеріалознавство», «Технічна електрохімія».

Дисципліна «Виробництво хімічних продуктів електролізом» є одною з заключних дисциплін циклу професійної підготовки. Дисципліни, які базуються на результатах навчання: дисципліни циклу професійної підготовки, в рамках яких необхідний вибір та розрахунок обладнання для електрохімічних виробництв «Основи проектування хімічних виробництв», «Технологія, обладнання і проектування електрохімічних виробництв», «Дипломне проектування».

3. Зміст навчальної дисципліни

РОЗДІЛ 1. Предмет і задачі дисципліни

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. Апаратне оформлення процесу

Апаратне 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. Електролітичне виробництво хлору, лугів і 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. Азбополімерні 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.

РОЗДІЛ 8. Електрохімічний синтез органічних речовин

Тема 8.1. Електрохімічний синтез органічних речовин

Теоретичні основи процесів. Електрохімічний синтез органічних речовин. Оптимальні умови ведення процесу. Конструкції електролізерів. Шляхи інтенсифікації електрохімічного синтезу органічних речовин.

РОЗДІЛ 9. Електрохімічне знесолення води

Тема 9.1. Електрохімічне знесолення води

Електроліз із іонообмінними мембранами. Електродіаліз. Знесолення морської води. Шляхи удосконалення та підвищення техніко-економічних показників електрохімічних методів очистки речовин.

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. Горбачов А.К. Технічна електрохімія. Ч.1. Електрохімічні виробництва хімічних продуктів. – Харків : Видавництво "Прапор", 2002. - 254с.
2. Прикладная электрохимия / Под редакцией А.П. Томилова. - М.: Химия, 1984. – 520 с.

3. 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.
4. Фиошин М.Я., Смирнова М.Г. Электрохимические системы в синтезе химических продуктов. – М.: Химия, 1985. – 250 с.
5. Якименко Л.М. Получение водорода, хлора и щелочей. – М.: Химия, 1981. – 280 с.

Додаткова

6. Флеров В.Н. Сборник задач по прикладной электрохимии. – М.: Высшая школа, 1987. – 318 с.
7. Якименко Л.М. Электродные материалы в прикладной электрохимии. – М.: Химия, 1977. – 264 с.
8. Зимин В.М., Камарьян Г.Н. Хлорные электролизеры. – М.: Химия, 1984. – 302 с.
9. Якименко Л.М., Серышев Г.А., Мазанко А.Ф. Электрохимический синтез неорганических соединений. – М.: Химия, 1984. – 158 с.
10. Якименко Л.М., Серышев Г.А. Электрохимический синтез неорганических соединений. – М.: Химия, 1984. – 158 с.
11. Кубасов В. Л. Электрохимическая технология неорганических веществ : [учеб. для техникумов] / В. Л. Кубасов, В. В. Банников. – М. : Химия, 1983. – 288 с.

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**.
13. 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 **vxcs5ep**

Навчальний контент

5. Методика опанування навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Лекційні заняття

Проведення лекцій з дисципліни проводиться паралельно з розглядом питань, що виносяться на самостійну роботу. При проведенні лекцій застосовуються засоби для відеоконференцій (Google Meet, Zoom тощо) та ілюстративний матеріал у вигляді презентацій, які розміщені на платформі Sikorsky-distance [12, 13]. 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	<u>Предмет і задачі дисципліни</u> 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.
2	<u>Основні елементи і поняття</u> Основні елементи і поняття електрохімічних виробництв продуктів в хімічній промисловості. Електроди. Діафрагми. Електроліти.
3	<u>Промисловий електроліз</u> 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.

	<i>Промисловий електроліз: схеми підключення електродів, конструкції електролізерів, компонування цеху електролізу, джерело постійного струму.</i>
4	<u>Теоретичні основи процесу.</u> <i>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.</i>
5	<u>Апаратурне оформлення процесу електролізу води.</u> <i>Конструкція електролізерів для електролізу води: моно- і біполярні конструкції. Подача води до ванн. Регулювання тиску газів і рівню електроліту в ванні.</i>
6	<u>Шляхи підвищення економічності процесу електролізу води.</u> <i>Високотемпературний електроліз із твердим електролітом, електроліз із іонообмінними мембранами.</i>
7	<u>Електролітичне виробництво хлору, лугів та водню</u> <i>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.</i>
8	<u>Діафрагмовий метод виробництва.</u> <i>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 ОРТА.</i>
9	<u>Мембранний метод виробництва.</u> <i>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.</i>
10	<u>Ртутний метод виробництва.</u> <i>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.</i>
11	<u>Технологічні схеми. Порівняння техніко-економічних показників методів виробництва. Виробництво хлору електролізом абгазної хлоридної кислоти.</u> <i>Технологічні схеми і апаратурне оформлення виробництва лугу і хлору. Вимоги до розсолу. Апаратурне оформлення стадій очищення розсолу, обробки лугу, хлору, стічних вод.</i> <i>Порівняння техніко-економічних показників діафрагмового, мембранного і ртутного методів виробництва, шляхи їх удосконалення.</i> <i>Теоретичні основи електролізу абгазної хлоридної кислоти. Шляхи зниження витрат електроенергії. Конструкція електролізерів. Технологічна схема виробництва.</i>
12	<u>Електрохімічний синтез оксигенвмісних сполук хлору.</u> <i>Отримання гіпохлориту натрію. Основні і побічні процеси. Вихід за струмом. Раціональні умови електролізу.</i>
13	<u>Електрохімічний синтез оксигенвмісних сполук хлору.</u>

	<i>Виробництво хлоратів. Основні і побічні процеси. Вихід за струмом. Раціональні умови електролізу. Технологічна схема виробництва.</i>
14	<u>Електрохімічний синтез окисневмісних сполук хлору.</u> <i>Виробництво перхлоратної кислоти і перхлоратів. Основні і побічні процеси. Конструкція електролізерів. Технологічна схема виробництва перхлоратів.</i>
15	<u>Виробництво пероксисполук.</u> <i>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>
16	<u>Виробництво сполук мангану.</u> <i>Виробництво перманганату калію. Основні і побічні процеси. Вихід за струмом. Раціональні умови електролізу.</i>
17	<u>Виробництво сполук мангану.</u> <i>Електросинтез манган (IV) оксиду. Основні і побічні процеси. Раціональні умови отримання.</i>
18	<u>Електрохімічний синтез органічних речовин.</u> <i>Електрохімічний синтез органічних речовин. Оптимальні умови ведення процесу. Конструкції електролізерів.</i>

Практичні заняття

Основні завдання циклу практичних занять -це навчити студентів використовувати набуті раніше знання для складання рівнянь основних та побічних електродних реакцій, що перебігають при одержанні неорганічних продуктів; складання балансу робочої напруги на електролізері та проведення інших технологічних розрахунків.

№ з/п	Назва теми заняття
1	<u>Енергетика електрохімічних виробництв.</u> <i>Складові балансу напруги, теоретична напруга розкладу, її розрахунок з термодинамічних даних та з рівняння Нернста. Розрахунок джоулевого тепла. Матеріальні розрахунки при електролізі. Розрахунок впливу струмів витоку на зменшення виходу за струмом.</i>
2	<u>Виробництво водню і кисню електролізом.</u> <i>Розрахувати по термодинамічним даним теоретичну напругу розкладання води при заданій температурі і тиску. Вирішити задачу для випадку, коли зростають температура, тиск. Вирішити задачу з визначенням електричної потужності, продуктивність біполярного електролізера.</i>
3	<u>Виробництво хлору і лугів електролізом діафрагмовим методом.</u> <i>Розрахувати теоретичні витрати електроенергії при діафрагмовому способі виробництва. Розрахувати зниження витрат електроенергії при заміні графітових анодів на ОРТА. Визначити вихід за струмом лугу для діафрагмового електролізера. Розрахувати швидкість потоку розсолу через діафрагму.</i>
	Тематична контрольна робота 1
4	<u>Виробництво хлору і лугів електролізом ртутним методом</u> <i>Розрахувати по термодинамічним даним теоретичну напругу розкладу розчину кухонної солі при заданій напрузі для електролізу з рідким катодом. Розрахувати теоретичні витрати електроенергії при ртутному способі виробництва. Розрахувати швидкість течії ртутного катода. Визначити вихід за струмом для ртутного електролізера.</i>
5	<u>Виробництво хлору електролізом абгазної хлоридної кислоти. Виробництво гіпохлориту натрію</u>

	<i>Розрахувати продуктивність електролізера для електролізу азотної кислоти. Визначити вихід за струмом при електролізі хлоридної кислоти. Розрахувати вихід за струмом гіпохлориту натрію. Розрахувати необхідну швидкість протікання розсолу крізь електролізер.</i>
6	<u>Виробництво хлоратів. Виробництво перхлорату натрію. Виробництво перхлоратної кислоти.</u> <i>Розрахувати швидкість підведення розчину, надільні витрати електроенергії при отриманні хлорату натрію. Матеріальний баланс каскаду електролізерів для отримання хлорату калію. Розрахувати матеріальний і енергетичний баланси періодичного процесу отримання перхлорату натрію. Виробництво перхлоратної кислоти окисленням хлоридної кислоти.</i>
	<i>Тематична контрольна робота 2</i>
7	<u>Виробництво пероксидів</u> <i>Матеріальний і енергетичний баланси процесів отримання пероксодисульфатів амонію і пероксодисульфатної кислоти.</i>
8	<u>Виробництво сполук марганцю</u> <i>Розрахунок кількості електролізерів для виконання річної програми виробництва перманганату калію. Матеріальні розрахунки виробництва діоксиду марганцю.</i>
	<i>Тематична контрольна робота 3</i>
9	<u>Електрохімічний синтез органічних речовин. Електрохімічне знезалення води</u> <i>Матеріальні розрахунки при електролізі гексаметилендіаміну і електросинтезі адипонітрилу. Розрахунок потужності електролізера для виробництва заданої кількості знезаленої води. Варіант розрахунку електролізера з іонообмінними мембранами.</i>

Лабораторні роботи

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

№ з/п	Назва лабораторної роботи	Кількість ауд. годин
1	Електроліз води	4
2	Електрохімічне отримання хлору, лугу та водню	4
3	Виробництво гіпохлоритів та хлоратів	4
4	Електрохімічне отримання пероксодисульфату калію	4
5	Електрохімічне отримання перманганатів	4
6	Електрохімічне отримання марганцю (IV) оксиду ЕДМ-1	4
7	Електрохімічне отримання марганцю (IV) оксиду ЕДМ-2.	4
8	Електрохімічне отримання плюмбуму (IV) оксиду	4
9	Електрохімічне отримання купрум (I) оксиду	4

6. Самостійна робота студента/аспіранта

Самостійна робота студента (СП) протягом семестру включає повторення лекційного матеріалу, проведення розрахунків та оформлення звітів з лабораторних робіт; підготовка до тематичних контрольних робіт; підготовка до проведення практичних завдань та виконання розрахунків, підготовка до екзамену. 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; підготовка до проведення практичних завдань та виконання розрахунків	4 – 5 годин на тиждень
Підготовка до МКР (повторення матеріалу)	6 годин
Підготовка до екзамену	30 годин

СРС включає також виконання студентами Курсової роботи з дисципліни відповідно до узгодженої з викладачем теми. Рекомендована ритмічність виконання курсової роботи та кількість годин на виконання:

Тиждень семестру	Назва етапу роботи	Кількість годин на виконання
2	Отримання теми та завдання	1
3-6	Підбір та вивчення літератури	4
7-8	Виконання розділів 1-2	5
9-10	Виконання розділу 3-4	5
11-12	Виконання розділу 5	6
13-15	Виконання розділу 6	6
16	Подання курсової роботи на перевірку	1
17-18	Захист курсової роботи	2

Політика та контроль

7. Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

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

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. Запізнення на лабораторне заняття (умови їх проведення в звичайному та змішаному режимах роботи Університету) штрафується 0,25 бала за кожні 15 хвилин запізнення, тому що призводять до затримки виконання усієї бригадою студентів;

2. Несвоєчасне подання повністю оформленої курсової роботи на перевірку штрафується 5 балами.

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: робота на практичних заняттях, 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, з них 60 бали складає стартова шкала. Стартовий рейтинг (протягом семестру) складається з балів, що студент отримує за:

- відповіді на практичних заняттях (в середньому 1 раз за семестр);
- виконання та захист 8 лабораторних робіт - в звичайному та змішаному режимах роботи Університету, або 5 лабораторних робіт - в дистанційному режимі роботи Університету;
- виконання модульної контрольної роботи, яка складається з трьох тематичних контрольних робіт.

Критерії нарахування балів:

1. Робота на практичних заняттях

Ваговий бал – **4 бали**. Оцінювання роботи проводиться за наступною шкалою:

- безпомилкове виконання розрахункового завдання або розрахунок з деякими математичними похибками - 4 бали;
- виконання завдання з деякими математичними похибками або після невеликої навідної допомоги викладача чи іншого студента - 3 бали ;
- проведення розрахункових вправ зі значущими помилками хімічного, стехіометричного чи математичного характеру - 2 бали;
- проведення розрахункових вправ з грубими помилками щодо хімічної чи хіміко-технологічної суті завдання - 0 балів.

2. Лабораторні роботи

2.1. в звичайному та змішаному режимах роботи Університету

Ваговий бал – **4 бали**. Бали за лабораторну роботу розраховуються як сума балів за виконання окремих етапів роботи – допуск і власне виконання (2 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 дотриманні правил і норм техніки безпеки - 2 бали;
- при перевірці готовності студент має утруднення при формулюванні вірних відповідей; є зауваження щодо підготовки протоколу; виконання завдання ЛР в повному обсязі при дотриманні правил і норм техніки безпеки - 1,5 бала;
- виконання завдань ЛР в повному обсязі при наявності зауважень з боку викладача щодо необґрунтованого відхилення від методичних вказівок або щодо дотримання вимог техніки безпеки - 1 бал;

- невиконання завдань ЛР в повному обсязі за відведений час при наявності зауважень з боку викладача щодо вірності виконання роботи або додержання вимог техніки безпеки - 0 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 бала (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.

2.2. в дистанційному режимі роботи Університету

Ваговий бал – **6,4 бали**. Бали за лабораторну роботу розраховуються як сума балів за виконання окремих етапів роботи – допуск (0,4 бали), участь у виконанні роботи та якість оформленого протоколу (2 бали), 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 - 0,4 бали;
- при перевірці готовності студент має утруднення при формулюванні вірних відповідей; є зауваження щодо підготовки протоколу - 0 балів;

Участь у виконанні лабораторної роботи та якість оформленого протоколу

- здатність пояснити усі необхідні операції; бездоганне оформлення протоколу та інших матеріалів - 2 бали;
- утруднення при формулюванні вірних відповідей щодо ходу роботи та допоміжних операцій; зауваження щодо повноти і якості оформлення протоколу - 1,5 бала;
- студент надає відповідь тільки після отримання підказки з боку інших студентів або викладача; наявність суттєвих зауважень щодо повноти, грамотності і охайності при оформленні матеріалів з виконаної ЛР - 1 бал;
- неспроможність надати пояснення щодо ходу роботи; суттєві зауваження щодо повноти, грамотності і охайності при оформленні протоколу ЛР - 0 балів;

Захист лабораторної роботи

- наявність впевнених знань з завдань виконаної ЛР - 4 бали (не менше 90 % потрібної інформації);
- не зовсім повне оволодіння знаннями за підсумками виконання ЛР - 3 бали (не менше 75 % потрібної інформації);
- наявність значних утруднень під час відповіді по виконаній роботі - 2 бали (не менше 60 % потрібної інформації);
- неспроможність дати відповідь по виконаній роботі - 0 балів.

3. Тематична контрольна робота

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 бала (не менше 90 % потрібної інформації);
- загалом вірна відповідь, наявність 1-2 помилок при відповіді на контрольне завдання - 3 бала (не менше 75 % потрібної інформації);
- наявність суттєвих помилок при відповіді на контрольне завдання - 2 бала (не менше 60 % потрібної інформації);

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

Календарний контроль: проводиться двічі на семестр як моніторинг поточного стану виконання вимог силабусу. Умовою отримання позитивної оцінки з календарного контролю є рейтинг студента 50 % від максимально можливого на час календарного контролю. На **першому календарному контролі** (8-й тиждень) студент отримує «атестований», якщо його поточний рейтинг не менше $0,5 \cdot 20^1 = 10$ балів. На **другому календарному контролі** (14-й тиждень) студент отримує «атестований», якщо його поточний рейтинг не менше $0,5 \cdot 44^2 = 21$ балу.

Семестровий контроль: усний екзаме́н.

На екзамені студенти мають відповісти на питання екзаменаційного білета. Кожен білет містить два теоретичних питання, завдання по технологічних схемах або конструкціям електролізерів, та задачу. Кожен із елементів білету оцінюється у **10 балів**. Кожне запитання (завдання) оцінюється за такими критеріями:

- повна відповідь на запитання з елементами оригінального, творчого підходу до пояснення прийнятих рішень, обґрунтування цих рішень на основі демонстрації вмінь залучати фундаментальні знання з хімії - 9-10 балів (не менше 90 % потрібної інформації);
- повна і взагалі вірна відповідь на запитання з 1–5 незначними помилками або зауваженнями - 7-8 балів (не менше 75 % потрібної інформації);
- взагалі вірна відповідь на запитання з 5–6 незначними помилками та 1–2 зауваженнями принципового характеру, пов'язаного з неповнотою знань з фундаментальних основ - 6 балів (не менше 60 % потрібної інформації);
- незадовільна відповідь - 0 балів.

Максимальна сума балів, яку студент може набрати протягом семестру, складає 60 балів:

$$RC = r_{пр} + r_{мкр} + r_{лр} = 4 + 24 + 32 = 60 \text{ балів.}$$

Умовою допуску до екзамену є зарахування всіх лабораторних робіт, написання трьох ТКР та кількість рейтингових балів не менше 30.

Поточний контроль: з Курсової роботи не проводиться.

Календарний контроль: з курсової роботи провадиться двічі на семестр як моніторинг поточного стану виконання вимог силабусу. Умовою отримання позитивної оцінки з календарного контролю є виконання графіку виконання Курсової роботи, який наведено в п.6 Силабусу.

Курсова робота має бути здана відповідно до графіку виконання, зазначеного в силабусі. Оцінювання курсової роботи проводиться відповідно до критеріїв:

1. Виконання Розділу «Характеристика основних продуктів виробництва та галузі їх використання». Ваговий бал – **5 балів**.

- 5 балів (не менше 90 % потрібної інформації) - питання глибоко пророблено, аналіз стану здійснено за новітніми вітчизняними і зарубіжними джерелами інформації;
- 4 бали (не менше 75 % потрібної інформації) - неповна, але вірна, логічно побудована відповідь; аналіз здійснено в основному за навчальною літературою та застарілими джерелами (більше 10 років);
- 3 бали (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.

2. Виконання Розділу «Історія розвитку методів виробництва». Ваговий бал – **5 балів**.

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

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

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

- 4 бали (не менше 75 % потрібної інформації) - неповна, але вірна, логічно побудована відповідь; аналіз здійснено в основному за навчальною літературою та застарілими джерелами (більше 10 років);
- 3 бали (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.

3. Виконання Розділу «Сучасний стан технології виробництва продуктів електролізу».

Ваговий бал – 5 балів.

- 5 балів (не менше 90 % потрібної інформації) - питання глибоко пророблено, аналіз стану здійснено за новітніми вітчизняними і зарубіжними джерелами інформації;
- 4 бали (не менше 75 % потрібної інформації) - неповна, але вірна, логічно побудована відповідь; аналіз здійснено в основному за навчальною літературою та застарілими джерелами (більше 10 років);
- 3 бали (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.

4. Виконання Розділу «Перспективи подальшого розвитку методу виробництва». Ваговий бал – 10 балів.

- 9-10 балів (не менше 90 % потрібної інформації) - питання глибоко пророблено, аналіз стану здійснено за новітніми вітчизняними і зарубіжними джерелами інформації;
- 7-8 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);
- 5-6 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.

5. Виконання Розділу «Обґрунтований вибір і описання конструкції електролізера та технологічної схеми». Ваговий бал – 5 балів.

- 5 балів - вірно обґрунтований вибір конструкції електролізера, надано детальний опис конструкції та технологічної схеми; виконаний з використанням засобів комп'ютерної графіки з дотриманням вимог ДСТУ;
- 4 бали - запропоновано застарілу конструкцію електролізера; помилки в описі конструкції або технологічної схеми; виконання на високому технічному рівні з дотриманням вимог ДСТУ;
- 3 бали - відсутній опис електролізера або технологічної схеми; 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.

6. Виконання Розділу «Розрахунок електролізера». Ваговий бал – 15 балів.

- 14-15 балів - безпомилкове виконання розрахункового завдання або розрахунок з незначними погрешностями;
- 11-13 балів - вірний, загалом, розрахунок з деякими математичними чи стехіометричними помилками;
- 8-10 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;

7. Якість оформлення курсової роботи. Ваговий бал – 5 балів.

- 5 балів - 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;
- 4 бали - зауваження щодо повноти, акуратності, грамотності оформлення; оформлення з незначними відхиленнями від вимог ДСТУ;
- 3 бали - наявність суттєвих зауважень щодо повноти, грамотності, акуратності і охайності; незначне відхилення від вимог ДСТУ;
- 0 балів - оформлення з порушеннями вимог ДСТУ.

Семестровий контроль: захист курсової роботи.

Умови допуску до семестрового контролю: мінімальне значення рейтингового балу за результатами перевірки курсової роботи – **25 балів**.

На захисті курсової роботи студент має продемонструвати ступінь володіння матеріалом, аргументованість рішень, вміння захищати свою думку тощо. Ваговий бал захисту курсової роботи – **50 балів**.

Оцінювання проводиться відповідно до критеріїв:

- відповіді на запитання демонструють уміння студента професійно відстоювати власну точку зору, а також і те, що він володіє професійними знаннями на сучасному рівні - 45–50 балів (не менше 90 % потрібної інформації);
- студент може професійно відстоювати власну точку зору. Відповіді на запитання є вірними по сутності, але не завжди достатньо повні і аргументовані - 41–44 балів (не менше 80 % потрібної інформації);
- відповіді на запитання неповні, припущені істотні неточності в аргументуванні прийнятих рішень - 37–40 балів (не менше 75 % потрібної інформації);
- вірні відповіді на 30–50 % запитань; слабе володіння матеріалом; відсутність аргументації прийнятих рішень - 30–36 балів (не менше 60 % потрібної інформації);
- вірні відповіді на 15–30 % запитань; нездатність студента пояснити теоретичні основи розглянутих процесів - 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 дисципліни (освітнього компонента)

- Вимоги до оформлення курсової роботи, перелік запитань до МКР та для підготовки до екзамену наведені у Google Classroom «Виробництво хімічних продуктів електролізом» (платформа Sikorsky-distance).
- Перелік матеріалів, якими дозволено користуватись під час екзамену – під час екзамену студенту заборонено використовувати будь-які допоміжні матеріали та літературу. За порушення вимог студенти усуваються від екзамену.
- Під час захисту курсової роботи студент має право для уточнення фізичних параметрів процесів скористатись власною курсовою роботою.

Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):

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

Ухвалено кафедрою технології електрохімічних виробництв (протокол № 13 від 31.05.2021р.)

Погоджено Методичною комісією факультету (протокол № 9 від 19.05.2021)