

Черкаський державний технологічний університет  
Факультет електронних технологій, автотранспорту та машинобудування



**ПРОГРАМА**  
**навчальної дисципліни вільного вибору**  
**(цикл дисциплін зі спеціальності)**

**Технології та обладнання електрохімічної обробки**  
**матеріалів**  
*(назва навчальної дисципліни)*

підготовки здобувачів освітньо-наукового ступеня  
доктора філософії

галузь знань 13 Механічна інженерія  
*шифр і назва галузі знань*

спеціальність 131 Прикладна механіка  
*шифр і назва спеціальності*

освітня програма Лазерні технології та процеси фізико-технічної  
обробки  
*назва освітньої програми*

2024 рік

Робоча програма навчальної дисципліни «Технології та обладнання електрохімічної обробки матеріалів» підготовки здобувачів освітнього ступеня «доктора філософії» за спеціальністю 131 «Прикладна механіка», освітня програма «Лазерні технології та процеси фізико-технічної обробки».  
- 8 стор.

Розробник: Олександр ПЛАХОТНИЙ, д.т.н., доцент, професор кафедри енерготехнологій

Робоча програма навчальної дисципліни затверджена на засіданні кафедри проектування харчових виробництв та верстатів нового покоління

Протокол № 9 від «25» червня 2024 року

Завідувач кафедри  /Василь ОСИПЕНКО/  
підпис Власне ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Обговорено та рекомендовано до затвердження методичною комісією факультету електронних технологій, автотранспорту та машинобудування

«26» червня 2024 р., протокол №6

Голова методичної комісії факультету ЕТАМ  /Олександр ГАВРИШ/  
підпис Власне ім'я, ПРІЗВИЩЕ

**ПОГОДЖЕНО:**

Завідувач кафедри проектування харчових виробництв та верстатів нового покоління  /Василь ОСИПЕНКО /  
підпис Власне ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Навчально-методичний відділ  /Олексій КОЖЕМЯКІН/  
підпис Власне ім'я, ПРІЗВИЩЕ

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

**ПРОГРАМУ ПРОЛОНГОВАНО ДО «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 202\_\_ р.**

Завідувач кафедри \_\_\_\_\_ /  
підпис Власне ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Навчально-методичний відділ \_\_\_\_\_ /  
підпис Власне ім'я, ПРІЗВИЩЕ

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

## 1. ІНФОРМАЦІЯ ПРО ВИКЛАДАЧА

|                             |                                                                                                                                                       |
|-----------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Прізвище, ім'я, по батькові | Плахотний Олександр Петрович                                                                                                                          |
| Науковий ступінь            | доктор технічних наук                                                                                                                                 |
| Вчене звання                | доцент                                                                                                                                                |
| Посада                      | професор кафедри енерготехнологій                                                                                                                     |
| Місце роботи                | ЧДТУ, кафедра енерготехнологій                                                                                                                        |
| Адреса кафедри              | м. Черкаси, бул. Шевченка, 460, ЧДТУ, корпус 4, а. 313                                                                                                |
| Контактний телефон          | 096 309 97 63                                                                                                                                         |
| Профайл викладача           | <a href="https://energotex.chdtu.edu.ua/staff/plahotnyj-oleksandr-petrovych/">https://energotex.chdtu.edu.ua/staff/plahotnyj-oleksandr-petrovych/</a> |
| e-mail:                     | <a href="mailto:o.plakhotny@chdtu.edu.ua">o.plakhotny@chdtu.edu.ua</a>                                                                                |
| Профайл дисципліни          | <a href="https://surl.li/mupppv">https://surl.li/mupppv</a>                                                                                           |
| Розклад консультацій        | Відповідно до розкладу викладача після завершення занять <a href="https://energotex.chdtu.edu.ua/">https://energotex.chdtu.edu.ua/</a>                |

## 2. ОПИС НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

| Галузь знань, спеціальність, освітня програма, освітній рівень                    | Загальні характеристики            |     | Навчальне навантаження з дисципліни |              |
|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------|-----|-------------------------------------|--------------|
|                                                                                   |                                    |     | денна форма                         | заочна форма |
| <u>Галузь знань</u><br><u>13 Механічна інженерія</u>                              | Вибіркова                          |     | Курс підготовки:                    |              |
|                                                                                   |                                    |     | 1                                   |              |
| <u>Спеціальність</u><br><u>131 Прикладна механіка</u>                             | Загальна кількість кредитів ЄКТС   | 4   | Семестр підготовки:                 |              |
|                                                                                   | Загальна кількість годин           | 120 | 2                                   |              |
| <u>Освітня програма</u><br>Лазерні технології та процеси фізико-технічної обробки | Кількість аудиторних годин         | 48  | Лекції                              |              |
|                                                                                   |                                    |     | 32                                  |              |
|                                                                                   | Кількість годин самостійної роботи | 72  | Практичні, семінарські              |              |
|                                                                                   |                                    |     | 16                                  |              |
| <u>Освітній рівень</u><br>доктор філософії                                        | Мова навчання - українська         |     | Лабораторні                         |              |
|                                                                                   |                                    |     | —                                   |              |
|                                                                                   |                                    |     | Самостійна робота                   |              |
|                                                                                   |                                    |     | 72                                  |              |
|                                                                                   |                                    |     | Форма підсумкового контролю         |              |
|                                                                                   |                                    |     | залік                               |              |

### 3 ПРЕДМЕТ, МЕТА І ЗАВДАННЯ НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

|                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|-------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Предмет вивчення дисципліни</b>  | Процеси, технології та обладнання для електрохімічної обробки матеріалів                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| <b>Мета викладання дисципліни</b>   | Формування у здобувачів системи наукових та професійних знань та навичок в царині наукових засад формоутворення деталей за електрохімічними технологіями з використанням сучасного обладнання                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| <b>Завдання вивчення дисципліни</b> | Надання студентам необхідних знань із: <ul style="list-style-type: none"><li>– загальних даних про теорію процесу електрохімічної обробки матеріалів та його закономірностей;</li><li>– основних технологічних схем електрохімічної обробки;</li><li>– розуміння основних технологічних показників та точності електрохімічної обробки;</li><li>– характеристик, рівня та особливостей обладнання світових лідерів на теренах розробки та випуску електрохімічного устаткування.</li></ul> |

### 4 РЕЗУЛЬТАТИ НАВЧАННЯ

| № з/п | Результати навчання                                                                                                                                             |
|-------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1     | Розуміння механізмів обробки матеріалів за механізмом анодного розчинення, володіння методами їх математичного моделювання та визначення технологічних режимів. |
| 2     | Вміння давати адекватну оцінку показникам продуктивності, якості та точності електрохімічних методів обробки.                                                   |
| 3     | Розуміння засад методології наукових досліджень в царині електрохімічних технологій та обладнання.                                                              |
| 4     | Вміння розробляти програми досліджень та проекти технологічного устаткування.                                                                                   |

## 5 ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Змістовий модуль №1</b><br><b>«Механізм анодного розчинення. Особливості електрохімічної обробки та електрохімічного обладнання».</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| <b>Тема 1.</b> Вступ.<br><i>Мета і завдання дисципліни. Хімічні процеси, які протікають на поверхні електродів, поміщених в електроліт, при проходженні між ними постійного електричного струму. Закони Фарадея.</i>                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| <b>Тема 2.</b> Електроліти. Типи і схеми електрохімічного обладнання, технічні та технологічні характеристики.<br><i>Основні вимоги до електролітів у відповідності до сплаву, що обробляється. Склад устаткування для проведення електрохімічної обробки. Основні закономірності формоутворення при електрохімічній обробці.</i>                                                                                                                                                          |
| <b>Тема 3.</b> Типові операції електрохімікогідрравлічної обробки.<br><i>Копіювально-прошивальні операції. Електрохімічна обробка деталей типу тіл обертання. Обробка складних контурних деталей типу лопатка ГТД Електрохімікогідрравлічне різання, електрохімічне шліфування, інші операції електрохімічної обробки (загострення голок, маркування, видалення задирок і т.д.)</i>                                                                                                        |
| <b>Змістовий модуль №2</b><br><b>«Електрохімічна обробка непрофільованим дротяним електродом»</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| <b>Тема 4.</b> Технологічні схеми та сучасні показники вихідних параметрів розмірної електрохімічної обробки імпульсним струмом.<br><i>Переваги електрохімічної обробки імпульсним струмом. Особливості вибору та регулювання міжелектродного проміжку. Реальні технологічні схеми електрохімічної обробки непрофільованим дротяним електродом.</i>                                                                                                                                        |
| <b>Тема 5.</b> Закономірності процесів приповерхневого анодного розчинення при електрохімічній обробці мікросекундними імпульсами струму.<br><i>Вплив гідродинаміки потоку електроліту на процеси анодного розчинення. Чинники та механізми електрохімічного розчинення термооброблених сталевих зразків. Моделювання процесів електрохімічної розмірної обробки. Комп'ютерна модель тривимірного розподілу густини струму по поверхні анода при використанні циліндричних електродів.</i> |
| <b>Тема 6.</b> Параметри та технічні характеристики електрохімічного обладнання світових виробників.<br><i>Електрохімічне обладнання європейських фірм. Електрохімічне обладнання фірм Японії.</i>                                                                                                                                                                                                                                                                                         |

## 6 ТЕМАТИЧНИЙ ПЛАН НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

| №<br>теми                                                                                                              | Назва модулів і тем                                                                                                                | Форми організації навчання, кількість годин |                               |                   |              |                               |                   | Література, інформаційні ресурси |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|-------------------------------|-------------------|--------------|-------------------------------|-------------------|----------------------------------|
|                                                                                                                        |                                                                                                                                    | Денна форма                                 |                               |                   | Заочна форма |                               |                   |                                  |
|                                                                                                                        |                                                                                                                                    | Лекції                                      | Практичні, лабораторні роботи | Самостійна робота | Лекції       | Практичні, лабораторні роботи | Самостійна робота |                                  |
| Змістовий модуль №1. Механізм анодного розчинення. Особливості електрохімічної обробки та електрохімічного обладнання. |                                                                                                                                    |                                             |                               |                   |              |                               |                   |                                  |
| 1                                                                                                                      | Тема 1. Вступ.                                                                                                                     | 2                                           |                               | 2                 |              |                               |                   | 2, 3                             |
| 2                                                                                                                      | Тема 2. Електроліти. Типи і схеми електрохімічного обладнання, технічні та технологічні характеристики.                            | 4                                           | 2                             | 4                 |              |                               |                   | 2, 3, 4                          |
| 3                                                                                                                      | Тема 3. Типові операції електрохімікогідрравлічної обробки.                                                                        | 8                                           | 4                             | 10                |              |                               |                   | 2, 3                             |
| Змістовий модуль №2. Електрохімічна обробка непрофільованим дротяним електродом                                        |                                                                                                                                    |                                             |                               |                   |              |                               |                   |                                  |
| 4                                                                                                                      | Тема 4. Технологічні схеми та сучасні показники вихідних параметрів розмірної електрохімічної обробки імпульсним струмом.          | 4                                           | 2                             | 10                |              |                               |                   | 1, 5, 7, 10                      |
| 5                                                                                                                      | Тема 5. Закономірності процесів приповерхневого анодного розчинення при електрохімічній обробці мікросекундними імпульсами струму. | 10                                          | 6                             | 36                |              |                               |                   | 1, 5, 8, 9, 11                   |
| 6                                                                                                                      | Тема 6. Параметри та технічні характеристики електрохімічного обладнання світових виробників.                                      | 4                                           | 2                             | 10                |              |                               |                   | 3, 6                             |
|                                                                                                                        | Разом                                                                                                                              | 32                                          | 16                            | 72                |              |                               |                   |                                  |

## 7 ПРАКТИЧНІ / СЕМІНАРСЬКІ ЗАНЯТТЯ

| № з/п | Тема заняття                                                                             | Кількість годин |        |
|-------|------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|--------|
|       |                                                                                          | Денна           | Заочна |
| 1     | Вибір параметрів електролітів до технологічних операцій електрохімічної обробки сплавів. | 2               |        |
| 2     | Проектування форми електродів для електрохімічних прошивних операцій.                    | 4               |        |

|   |                                                                                                              |    |  |
|---|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|--|
| 3 | Робота в пакетах прикладних програм для моделювання процесів електрохімічної розмірної обробки               | 8  |  |
| 4 | Технічні та технологічні можливості устаткування світових виробників для проведення електрохімічної обробки. | 2  |  |
|   | Разом:                                                                                                       | 16 |  |

## 8 САМОСТІЙНА РОБОТА

### 8.1 Рекомендації до самостійної роботи здобувачів вищої освіти денної форми навчання

Використовуючи надані літературу та інформаційні ресурси опрацювати та проаналізувати кожну тему. За виникнення труднощів сприйняття матеріалу теми, підготувати перелік запитань до викладача.

| № з/п | Назва теми                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Кількість годин | Література, інформаційні ресурси |
|-------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|----------------------------------|
| 1     | Мета і завдання дисципліни. Хімічні процеси, які протікають на поверхні електродів, поміщених в електроліт, при проходженні між ними постійного електричного струму. Закони Фарадея.                                                                                                                                                   | 2               | 2, 3                             |
| 2     | Основні вимоги до електролітів у відповідності до сплаву, що обробляється. Склад устаткування для проведення електрохімічної обробки. Основні закономірності формоутворення при електрохімічній обробці.                                                                                                                               | 4               | 2, 3, 4                          |
| 3     | Копіювально-прошивальні операції. Електрохімічна обробка деталей типу тіл обертання. Обробка складних контурних деталей типу лопатка ГТД. Електрохімікогідравлічне різання, електрохімічне шліфування, інші операції електрохімічної обробки (загострення голок, маркування, видалення задирок і т.д.)                                 | 10              | 2, 3                             |
| 4     | Переваги електрохімічної обробки імпульсним струмом. Особливості вибору та регулювання міжелектродного проміжку. Реальні технологічні схеми електрохімічної обробки непрофільованим дротяним електродом.                                                                                                                               | 10              | 1, 5, 7, 10                      |
| 5     | Вплив гідродинаміки потоку електроліту на процеси анодного розчинення. Чинники та механізми електрохімічного розчинення термооброблених сталевих зразків. Моделювання процесів електрохімічної розмірної обробки. Комп'ютерна модель тривимірного розподілу густини струму по поверхні анода при використанні циліндричних електродів. | 36              | 1, 5, 8, 9, 11                   |
| 6     | Електрохімічне обладнання європейських фірм. Електрохімічне обладнання фірм Японії.                                                                                                                                                                                                                                                    | 10              | 3, 6                             |
|       | Разом:                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | 72              |                                  |

## 9 КРИТЕРІЇ ОЦІНЮВАННЯ

### 9.1 МЕТОДИ КОНТРОЛЮ

- контроль виконання практичних робіт;
- фронтальне та індивідуальне усне опитування при виконанні практичних робіт.

### 9.2 КРИТЕРІЇ ОЦІНЮВАННЯ

#### *ДЕННА ФОРМА*

| Вид навчальної роботи                                                                                                                | Кількість балів максимум |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|
| <b><u>Постійна частина</u></b>                                                                                                       |                          |
| ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ №1<br>«Механізм анодного розчинення. Особливості електрохімічної обробки та електрохімічного обладнання» - 20 годин |                          |
| Виконання практичної роботи №1                                                                                                       | 20                       |
| Виконання практичної роботи №2                                                                                                       | 25                       |
| <b><i>Всього за змістовим модулем №1</i></b>                                                                                         | <b>45</b>                |
| ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ №2<br>«Електрохімічна обробка непрофільованим дрітним електродом» - 28 годин                                        |                          |
| Виконання практичної роботи №3                                                                                                       | 35                       |
| Виконання практичної роботи №4                                                                                                       | 20                       |
| <b><i>Всього за змістовим модулем №2</i></b>                                                                                         | <b>55</b>                |
| <b><u>Додаткова частина</u></b>                                                                                                      |                          |
| Участь в науковій конференції за темою дисципліни                                                                                    | <b>10</b>                |
| <b>ІТОГОВА СЕМЕСТРОВА ОЦІНКА</b>                                                                                                     | <b>100</b>               |

## 10 РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

### Основна

1. Плахотний О.П. Наукові засади комбінованої технології електроерозійної та електрохімічної обробки дрітним електродом. Дисертація доктора технічних наук за спеціальністю 05.03.07 «Процеси фізико-технічної обробки» (13 – Механічна інженерія). – Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» Міністерства освіти і науки України, Київ, 2021. – 405 с.  
<https://surl.li/tntoec>

2. Конспект лекцій з дисципліни «Електрофізикохімічні методи обробки матеріалів» / Л.Ф. Головка - К.: НТУУ «КПІ», 2022. – 145 с.  
<https://surl.li/sloajr>

3. Bard A. J., Faulkner L. R. Electrochemical methods: fundamentals and applications, Wiley New York, 2001 – 833 p. <https://surl.li/vgntuv>
4. Schneider M., Lohrengel M. Electrochemical machining. Springer Handbook of Electrochemical Energy. 2017: 941-971. <https://surl.li/hyrchf>
5. Ruszaj A., Cygnar M., Grabovski M. The state of the art in electrochemical machining process modeling and applications. AIP Conference Proceedings, AIP Publishing. 2018. <https://surl.li/zgqobv>
6. Zong Y., Liu J., Zhu D. Study of voltage regulation strategy in electrochemical machining of blisk channels using tube electrodes. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2021, 114(11): 3489-3501. <https://surl.li/zkdyrc>

### **Допоміжна**

7. Osypenko V., Plakhotnyi O., Timchenko O. Principles of the express method for controlling interelectrode space condition during wire electrochemical processing // Journal of Electrochemical Science and Engineering. – 2019. – №9(4). – С. 269 – 280. <https://surl.li/ucxnnr>
8. Plakhotnyi O., Osypenko V. Forming and finishing surface by sequential electrochemical-electrodischarge machining of precision magnetic optics parts // Int. J. Machining and Machinability of Materials. – 2020. – vol. 22, No. 3/4, pp. 331–347. DOI: <https://surl.li/mfqlfs>
9. Tchoupe, E., et al. Experimental setup for the investigation of the transport of different gas bubble sizes during electrochemical machining based on similarity theory using particle image velocimetry. Procedia CIRP, 2022, 113: 417-421. <https://surl.li/pkvmyi>
10. Rebschläger A. Recording, processing and use of material-specific data in pulse electrochemical machining. Dissertation zur Erlangung des Grades des Doktors der Ingenieurwissenschaften, Saarbrücken, 2015. – 115 с. <https://surl.li/vykbze>
11. Mayank G., et al. Analysis of Reactions Determining Current Efficiency in Electrochemical Machining. Procedia CIRP 68, 2018. P. 511-516 <https://surl.li/jhxerq>

## **11 МЕТОДИ НАВЧАННЯ**

При вивченні дисципліни використовуються наступні методи навчання:

1. Словесні: лекція, бесіда, пояснення, розповідь, самостійна робота, консультації.
2. Наочні методи: демонстрація об'єктів («педагогічний малюнок»).
3. Практичні – проведення досліджень при виконанні практичних робіт та самостійної роботи.
4. За характером діяльності студентів використовуються методи проблемного навчання (постановка проблеми та її вирішення), дослідницькі методи.

5. При навчанні основними формами роботи є індивідуальна, групова та фронтальна.
6. Реалізуються принципи особистісно-орієнтованого навчання.

## **12 ПОЛІТИКА ДИСЦИПЛІНИ**

**Політика щодо відвідування.** Відвідування занять є обов'язковим. Якщо здобувач вищої освіти відсутній з поважної причини (наприклад, індивідуальний графік навчання, хвороба), то навчання може відбуватись в он-лайн формі за погодженням із викладачем дисципліни, а також студент повинен презентувати виконані завдання під час самостійної підготовки та консультації викладача.

**Політика щодо правил поведінки на заняттях.** Здобувач вищої освіти зобов'язаний виконати необхідний мінімум навчальної роботи, приймати активну участь під час виконання поставлених завдань, не заважати у проведенні заняття.

**Політика щодо строків та перескладання.** Усі завдання, передбачені програмою навчальної дисципліни, мають бути виконані у встановлений термін. Роботи, які здаються із порушенням термінів без поважних причин, оцінюються на нижчу оцінку. Перескладання модулів відбувається із дозволу деканату за наявності поважних причин (наприклад, лікарняний).

**Політика щодо академічної доброчесності:** Середовище в аудиторії є дружнім, творчим, відкритим до конструктивної критики. Презентації, реферати та доповіді мають бути авторськими оригінальними. Списування під час модульної контрольної роботи та екзамену заборонені.