

НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ
ФІЗИКО-МЕХАНІЧНИЙ ІНСТИТУТ ім. Г.В. КАРПЕНКА

«ЗАТВЕРДЖУЮ»
Директор ФМІ НАН України
З.Г. Назарчук
«22» травня 2025 р.



РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ
(СИЛАБУС)

Корозійно-електрохімічні аспекти
трибокорозії металів та сплавів

рівень вищої освіти третій (доктор філософії)

галузь знань 16 Хімічна та біоінженерія

/шифр і назва/

спеціальність 161 Хімічні технології та інженерія

/шифр і назва /

спеціалізація Хімічний опір матеріалів та захист від корозії

/шифр і назва /

вид дисципліни вибіркова

(обов'язкова / за вибором)

мова викладання українська

Львів – 2025 рік

Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)
«Корозійно-електрохімічні аспекти трибокорозії металів та сплавів»

1. Реквізити навчальної дисципліни

Галузь знань	16 Хімічна та біоінженерія
Спеціальність	161 Хімічні технології та інженерія
Освітня програма	Хімічні технології та інженерія
Рівень вищої освіти	Третій (доктор філософії)
Статус дисципліни	Вибіркова
Форма навчання	Змішана
Рік підготовки, семестр	2 курс, весняний семестр
Обсяг дисципліни	3 кредити (90 годин)
Семестровий контроль/ контрольні заходи	Екзамен
Мова викладання	Українська
Інформація про керівника курсу / викладачів	Лектор: д.т.н., ст.н.с. Винар Василь Андрійович, vynar.va@gmail.com , Практичні: д.т.н., ст.н.с. Винар Василь Андрійович, Андрійович, vynar.va@gmail.com
Розміщення курсу	www.ipm.lviv.ua ; вільний доступ

2. Структура навчальної дисципліни

Найменування показників	Всього годин
Кількість кредитів/год.	3/90
Усього годин аудиторної роботи, у т.ч.:	50
• лекційні заняття, год.	32
• семінарські заняття, год.	–
• практичні заняття, год.	18
• лабораторні заняття, год.	–
Усього годин самостійної роботи, у т.ч.:	40
• контрольні роботи, к-сть/год.	–
• розрахункові (розрахунково-графічні) роботи, к-сть/год.	15
• індивідуальне науково-дослідне завдання, к-сть/год.	10
• підготовка до навчальних занять та контрольних заходів, год.	15
Екзамен	1
Залік	–

3. Мета, завдання та результати навчальної дисципліни

Навчальна дисципліна **«Корозійно-електрохімічні аспекти трибокорозії металів та сплавів»** розроблена і має на меті надати їм необхідні знання та уявлення щодо сучасних підходів для дослідження трибокорозії, процесів корозійно-механічного зношування металів у різних галузях промисловості, а також методів захисту від корозійно-механічного зношування. Аспіранти матимуть змогу освоїти різнопланові методи досліджень трибокорозії та свідомо їх використовувати для оцінювання та прогнозування корозійно-механічного зношування металів та сплавів і коректно підбирати пари тертя, що працюють у корозивних середовищах.

3.1. Мета дисципліни

Метою викладання навчальної дисципліни **Корозійно-електрохімічні аспекти трибокорозії металів та сплавів»** є поглиблене вивчення фундаментальних принципів трибокорозії металів ґрунтуючись на корозійні та трибологічні засади, освоїти методологію дослідження матеріалів на опір трибокорозійному руйнуванню та коректно робити вибір трибопар виходячи із властивостей матеріалів, середовищ та режимів контактної взаємодії.

3.2. Основні завдання вивчення навчальної дисципліни

- розкрити фундаментальні принципи трибокорозії включаючи корозійні та трибологічні засади;
- розглянути проблематику корозійно-механічного руйнування трибосистем у різних галузях промисловості;
- освоїти основні підходи до визначення механізмів трибокорозії;
- ознайомитися із міжнародним стандартом визначення складових компонент трибокорозії ASTM G119-09(2021) Standard Guide for «Determining Synergism Between Wear and Corrosion»;
- детально розглянути електрохімічні підходи для вивчення процесів трибокорозії матеріалів та покриттів;
- розвинути навички практичного використання електрохімічних критеріїв для встановлення механізмів контактної взаємодії поверхонь у корозивних середовищах;
- засвоїти підходи до аналізу одержаних результатів досліджень і робити адекватні висновки;
- розглянути вплив різних чинників на процеси трибокорозії;
- оволодіти знаннями щодо методів захисту та підвищення роботоздатності деталей, які працюють за фрикційного контакту у корозійно-активних та наводнювальних середовищах.

3.3. Результати навчальної дисципліни

Після засвоєння дисципліни аспіранти мають продемонструвати **такі програмні результати навчання:**

Загальні компетентності

ЗК01. Здатність до абстрактного мислення, аналізу, синтезу та оцінювання сучасних наукових досягнень, генерування нових знань при вирішенні дослідницьких і практичних завдань.

ЗК02. Здатність проведення трибокорозійних досліджень на відповідному рівні.

ЗК03. Здатність генерувати нові ідеї (креативність).

ЗК05. Здатність співпрацювати у професійному середовищі для реалізації завдань дослідження (збір та опрацювання даних, представлення та обговорення результатів).

ЗК06. Здатність набувати універсальні навички дослідника, зокрема усної та письмової презентації результатів власного наукового дослідження українською мовою, застосування

сучасних інформаційних технологій у науковій діяльності, пошуку та критичного аналізу інформації.

Фахові компетентності

ФК01. Здатність виконувати (індивідуально або в науковій групі) оригінальні дослідження, досягати наукових результатів, які створюють нові знання у хімічній технології та інженерії, зокрема нові підходи для дослідження трибокорозії металів.

ФК02. Здатність ставити та вирішувати проблеми у сфері хімічного опору матеріалів та захисту від корозії, вибирати перспективні методи підвищення стійкості

ФК03. Здатність отримувати доступ до відповідних документів та текстів для вирішення відповідних задач у сфері хімічного опору матеріалів та захисту від корозії, аналізувати та поєднувати інформацію з різних джерел, які стосуються тематики корозійно-механічного зношування металів, в тому числі і за дії водневого чинника.

ФК06. Здатність розвивати та вдосконалювати свої здібності в галузі письмової наукової комунікації для написання, публікування та презентації статей у фахових журналах та наукометричних виданнях. Здатність забезпечувати збереження та використання авторських прав.

Програмні результати навчання

РН01. Мати передові концептуальні та методологічні знання з хімічних технології та інженерії, зокрема в галузі корозії матеріалів, а також дослідницькі навички, достатні для проведення наукових і прикладних досліджень на рівні останніх світових досягнень з відповідного напрямку, отримання нових знань та/або здійснення інновацій.

РН02. Планувати і виконувати експериментальні та/або теоретичні дослідження корозії матеріалів та дотичних міждисциплінарних напрямів з використанням сучасних інструментів, критично аналізувати результати власних досліджень і результати інших дослідників у контексті усього комплексу сучасних знань щодо досліджуваної проблеми

РН05. Знати закономірності керування складом, структурою та властивостями матеріалів різної природи та функціонального призначення, фізико-хімічними процесами в матеріалах для створення матеріалів із заданими структурами та властивостями.

РН07. Мати системні знання та навички сучасної методології досліджень в області хімічної технології та інженерії, хімічного опору матеріалів та у суміжних галузях. Оцінювати стан сучасних технологій хімічного виробництва та тенденцій їх розвитку з точки зору корозійних аспектів.

РН08. Досліджувати і моделювати явища та процеси у складних хіміко-технологічних та корозійних системах. Узагальнювати експериментальні дані та здійснювати їх оцінку на предмет значимості і співвідношення з відповідною теорією.

РН09. Планувати й ефективно проводити інформаційно-пошукову роботу в рамках власного дослідження із використанням універсальних і спеціалізованих ресурсів наукової інформації, застосовуючи наукометричні показники і відповідне програмне забезпечення. Здійснювати пошук, аналізувати і критично оцінювати інформацію з різних джерел.

РН10. Самостійно виконувати наукові дослідження та застосовувати дослідницькі навички для професійного росту.

РН13. Визначати ціннісні та етичні засади наукової діяльності й керуватись ними у власному дослідженні.

РН15. Вміти доступно, на високому науковому рівні доносити сучасні наукові знання та результати досліджень до професійної та непрофесійної аудиторії.

РН17. Представляти результати наукових досліджень через публікації у фахових рецензованих виданнях, в тому числі, внесених до наукометричних баз даних (наприклад, Scopus, Web of Science тощо).

РН18. Дотримуватись етичних норм, авторського права та норм академічної доброчесності під час наукових досліджень, презентації результатів, у своїй науково-педагогічній діяльності загалом.

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

Для успішного засвоєння дисципліни аспіранту необхідні знання та уміння, що були отримані під час вивчення дисциплін «Іноземна мова професійного спрямування», «Фізико-хімічні аспекти корозійно-механічного руйнування металів та сплавів» та «Методологія та планування дослідження».

Навчальна дисципліна є підготовчою для написання кваліфікаційної роботи аспіранта.

Перелік попередніх та супутніх і наступних навчальних дисциплін

№ з/п	Попередні навчальні дисципліни	Супутні і наступні навчальні дисципліни
1.	Іноземна мова професійного спрямування	Корозійно-електрохімічні аспекти структурної механіки руйнування та експлуатаційна деградація матеріалів
2.	Фізико-хімічні аспекти корозійно-механічного руйнування металів та сплавів	Сучасні методи корозійного моніторингу обладнання хімічних підприємств
3.	Методологія та планування дослідження	Проблеми корозійно-механічного руйнування обладнання нафтогазовидобувного комплексу, хімічної та енергетичної промисловості

5. Анотація навчальної дисципліни

Навчальна дисципліна «**Корозійно-електрохімічні аспекти трибокорозії металів та сплавів**» надає аспірантам знання та уявлення щодо сучасних підходів для дослідження трибокорозії, процесів корозійно-механічного зношування металів у різних галузях промисловості, а також методів підвищення опору трибокорозії. Дисципліна охоплює розуміння основних принципів корозії та трибології, які формують синергічні процеси за комплексної взаємодії. Наводяться основні підходи до визначення механізмів, які розглядаються у світовій літературі, зокрема синергічний, механістичний, третього тіла та нанохімічний для опису процесів трибокорозії. Також аспіранти ознайомлюються з міжнародним стандартом, щодо визначення корозійної, механічної та синергічної компонент загальних втрат матеріалу за трибокорозії. Названа дисципліна детально розглядає використання електрохімічних методів (потенціостатичний, потенціодинамічний, електрохімічної імпедансної спектроскопії, вимірювання електродного потенціалу та інші), які розширюють розуміння процесів, які відбуваються у трибокорозійній системі поверхня тертя-середовище і чітко прослідкувати за впливом різних чинників. Вона дає розуміння процесів трибокорозії і показує шляхи вибору контактних пар та методів підвищення опору корозійно-механічному руйнуванню, який може включати модифікування середовищ чи зміну властивостей поверхонь, використовуючи різні матеріалознавчі методи.

6. Опис навчальної дисципліни

6.1. Лекційні заняття

№ з/п	Назви тем	Кількість годин
1.	Вступ. ✓ Мета та завдання навчальної дисципліни ✓ Основні поняття: корозія, трибологія, трибокорозія. ✓ Трибокорозія в різних галузях промисловості.	4
2.	Класифікація вузлів тертя за умовами зношування. Загальні характеристики поверхні тертя і її геометрії.	4

	Шорсткість поверхонь.	
3.	Стадії зношування пар тертя. Класифікація видів зношування і пошкоджуваності.	4
4.	Методи і засоби досліджень тертя і зношування деталей машин в корозивних середовищах. Класифікація лабораторних машин для випробування матеріалів на зношування та методів вимірювання зношування за трибокорозії.	4
5.	Основні підходи до визначення механізмів трибокорозії: ✓ Синергічний; ✓ Механістичний; ✓ Третього тіла; ✓ Нанохімічний.	3
6.	Визначення компонент трибокорозії ASTM G119-09(2021) Standard Guide for «Determining Synergism Between Wear and Corrosion».	3
7.	Електрохімічні методи для вивчення процесів та механізмів трибокорозії (гальванічний, потенціостатичний, потенціодинамічний, електрохімічної імпедансної спектроскопії, електрохімічного шуму, вимірювання електродного потенціалу).	4
8.	Вплив різних чинників на трибокорозію металевих поверхонь та покриттів. Основні підходи до вибору контактних пар.	3
9.	Технологічні способи відновлення поверхонь деталей та підвищення зносостійкості за умов трибокорозії : хіміко-термічна обробка, термічна обробка; хімічна обробка; наплавка і напилення; гальванічні покриття, повехнево-пластичне зміцнення; іонна імплантація.	3
Усього годин		32

6.2. Практичні заняття

№ з/п	Назви тем	Кількість годин
	Визначення складових трибокорозії ASTM G119-09(2021) Standard Guide for «Determining Synergism Between Wear and Corrosion»	
1.1	Трибокорозійні дослідження для визначення сумарного впливу механічної, корозійної і синергічної складової втрат матеріалу з визначенням зміни електродного потенціалу в процесі випробувань матеріалу, що пасивує.	3
2.1	Встановлення механічної складової зношування матеріалу за катодного захисту	4
3.1	Потенціостатичні та потенціодинамічні дослідження матеріалу для визначення корозійної складової трибокорозії	4
4.1	Дослідження поверхонь тертя дослідних зразків з аналізом продуктів тертя за допомогою електронної мікроскопії та EDX аналізу.	4
5.1	Формування протоколу досліджень та звіту.	3
Усього годин		18

6.3. Самостійна робота

№ з/п	Найменування робіт	Кількість годин
1.	Підготовка до практичних занять	20
2.	Підготовка до здачі семестрового заліку	20
Усього годин		40

7. Методи діагностики знань

1. Опитування та допуск до виконання практичних робіт.
2. Захист практичних робіт, в тому числі виконаних за індивідуальними завданнями.
3. Екзаменаційний контроль з письмовою та усною компонентами.

8. Критерії оцінювання результатів навчання студентів

Максимальна оцінка в балах				
Поточний контроль (ПК)		Екзаменаційний контроль		Разом за дисципліну
Форма поточного контролю та максимальні бали за виконані завдання	Разом за ПК	письмова компонента	усна компонента	
Підготовка, виконання та захист звітів з лабораторних і практичних робіт: – 1-2 бали за групову роботу; – 2-3 бали за роботу, виконану за індивідуальним завданням.	40	50	10	100

Шкала оцінювання: національна та ECTS

Сума балів за навчальну діяльність	Оцінка ECTS	Оцінка за національною шкалою
90-100	+A, A, -A	
82-89	+B, B, -B	
74-81	+C, C, -C	
64-73	+D, D, -D	
60-63	E	
35-59	FX	
0-34	F	

9. Навчально-методичне забезпечення

1. Вказівки до виконання практичних робіт.
2. Завдання до проведення практичних робіт.

10. Рекомендована література Базова

1. Закалов О.В., Закалов І.О. Основи тертя і зношування в машинах. Навчальний посібник / О.В. Закалов, І.О. Закалов // Тернопіль, ТНТУ ім. І. Пулюя, 2011. – 322 с.
2. Антропов Л.І. Теоретична електрохімія. – К.: Либідь, 1993. – 540 с.

3. Кіндрачук, М.В. Трибологія / М.В. Кондрачук, В.Ф. Хабутель, М.І. Пашечко, Є.В. Корбут. – К.: Вид-во Національного Авіаційного університету «НАУ-друк», 2009. – 232 с.
4. Landolt D., Mischler S. Tribocorrosion of Passive Metals and Coatings, ISBN:978-1-84569-966-6, Woodhead Publishing, Cambridge, UK, 2011. Methods of measuring wear-corrosion synergism / Watson S.W., et al. Wear 1995. Vol. 181–183. № 2. P. 476–484.
5. Landolt D., Mischler S., Stemp M. Electrochemical methods in tribocorrosion: A critical appraisal. Electrochimica Acta. 2001. Vol. 46. № 24-25. P. 3913–3929.
6. <https://www.scribd.com/document/432556836/ASTM-G119>
7. Mischler S. Triboelectrochemical techniques and interpretation methods in tribocorrosion: A comparative evaluation. *Tribology International*. 2008. Vol. 41. № 7. P. 573–583.
8. Винар В. А. Наукові основи фрикційної взаємодії металів за дії корозійного та водного чинників : дис. докт. : 05.17.14 / Винар Василь Андрійович – Львів, 2020. – 389 с.
9. Mischler S. Triboelectrochemical techniques and interpretation methods in tribocorrosion: A comparative evaluation. *Tribology International*. 2008. Vol. 41. № 7. P. 573–583.
10. Електродугові відновні та захисні покриття. // В.І. Похмурський, М.М. Студент, В.М. Довгунік, Г.В. Похмурська, І.Й. Сидорак. Львів, Національна академія наук України, Фізико-механічний інститут ім. Г.В. Карпенка.- 2005.- 192 с.
11. Електролітичні покриття сплавами заліза для зміцнення і захисту поверхні: монографія / Г. В. Каракурчі [та ін.] ; Нац. техн. ун-т "Харків. політехн. ін-т". - Харків : Панов А. М., 2017. – 198.

Допоміжна

1. Wood R. J. K. Tribo-corrosion of coatings: a review. *Journal of Physics D: Applied Physics*. 2007. Vol. 40. № 18, P. 5502–5521.
2. Azzi M., Szpunar, J. A. Tribo-electrochemical technique for studying tribocorrosion behavior of biomaterials. *Biomolecular Engineering*. 2007. Vol. 24. № 5. P. 443–446.
3. A methodology for the assessment of the tribocorrosion of passivating metallic materials / N. Diomidis, et al. *Lubrication Science*. 2009. Vol. 21. № 2. P. 53–67.

Інформаційні ресурси

1. http://www.isup2008.org/presentations/Conference_1/Bayon_Gonzalez_R.pdf
2. <https://core.ac.uk/download/pdf/60787657.pdf>
3. https://learn.ztu.edu.ua/pluginfile.php/74506/mod_resource/content/5/%D0%9B%D0%B5%D0%BA%D1%86%D1%96%D1%8F%204.pdf

«ПОГОДЖЕНО»

Завідувач випускової кафедри,
доктор технічних наук, ст.н.с.



Сергій КОРНІЙ