

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Львівський національний університет імені Івана Франка
Механіко-математичний факультет
Кафедра механіки

Затверджено

На засіданні кафедри механіки
механіко-математичного факультету
Львівського національного університету
імені Івана Франка

(протокол № 1 від 31.08.2023 р.)



Завідувач кафедри:

Олександр Андрейків
Олександр АНДРЕЙКІВ

Силабус з навчальної дисципліни
“Фізико-хімічна механіка матеріалів”,
що викладається в межах ОПП “Математичне моделювання та
комп'ютерна механіка”
першого (бакалаврського) рівня вищої освіти для здобувачів з
спеціальності 113 Прикладна математика

Львів 2023 р.

Назва дисципліни	Фізико-хімічна механіка матеріалів
Адреса викладання дисципліни	Головний корпус Львівського національного університету імені Івана Франка, м. Львів, вул. Університетська 1, 79000
Факультет та кафедра, за якою закріплена дисципліна	Механіко-математичний факультет Кафедра механіки
Галузь знань, шифр та назва спеціальності	11 – Математика та статистика 113 – Прикладна математика
Викладачі дисципліни	Андрейків Олександр Євгенович, завідувач кафедри механіки, член-кореспондент Національної академії наук України, професор, доктор технічних наук
Контактна інформація викладачів	oleksandr.andreykiv@lnu.edu.ua https://new.mmf.lnu.edu.ua/employee/andrejkiv-o-e
Консультації з питань навчання по дисципліні відбуваються	Консультації в день проведення лекцій/лабораторних занять (за попередньою домовленістю). Головний корпус Львівського національного університету імені Івана Франка, м. Львів, вул. Університетська, 1. Кафедра механіки, каб. 148.
Сторінка курсу	https://new.mmf.lnu.edu.ua/course/physical-and-chemical-mechanics-of-materials-educational-program-mathematical-modeling-and-computer-mechanics
Інформація про дисципліну	Дисципліна “Фізико-хімічна механіка матеріалів” є нормативною дисципліною освітньо-професійної програми «Математичне моделювання та комп'ютерна механіка» бакалавра з спеціальності 113 – Прикладна математика, яка викладається в 8-му семестрі в обсязі 4-ох кредитів (за Європейською Кредитно-Трансферною Системою ECTS).
Коротка анотація дисципліни	Дисципліна “Фізико-хімічна механіка матеріалів” є важливою у забезпеченні спеціалізації в області механіки деформівного твердого тіла. Вона передбачає вивчення сучасних уявлень про вплив поверхнево-активних, воденьвмісних та корозійно-агресивних середовищ на деформування і руйнування металевих матеріалів, а також визначення ресурсу (залишкового ресурсу) елементів конструкцій за дії силових та фізико-хімічних факторів.
Мета та цілі дисципліни	Метою вивчення нормативної дисципліни “Фізико-хімічна механіка матеріалів” є освоєння студентами необхідних теоретичних знань і практичних навиків, які дозволять будувати математичні моделі впливу експлуатаційних агресивних середовищ на руйнування конструкційних матеріалів за довготривалого статичного навантаження. Цілями вивчення даної дисципліни є формування у студентів навиків визначення залишкової міцності і довговічності елементів конструкцій довготривалої експлуатації.
Література для вивчення дисципліни	<i>Література базова</i> 1. Андрейків О.Є., Скальський В.Р., Долінська І.Я. Заповільнене руйнування матеріалів за локальної повзучості. – Львів: Видавництво ЛНУ імені Івана Франка, 2017. – 400 с. 2. Бабенко А.Є., Боронко О.О., Шукаєв С.М., Заховайко О.П., Трубочев С.І., Колодежний В.А., Лавренко Я.І., Бабак А.М.

	<p>Механіка матеріалів і конструкцій: Навчальний посібник для студентів, які навчаються за спеціальністю «Прикладна механіка». – К.: НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського», 2017. – 191 с.</p> <p>3. Андрейків О.Є., Гембара О.В. Механіка руйнування та довговічність металевих матеріалів у водневмісних середовищах. – К: Наукова думка, 2008. – 344 с.</p> <p>4. Андрейків О.Є., Штаюра С.Т. Експериментальна механіка. Частина 1: Силові фактори. Ізотропні матеріали. Видавничий центр ЛНУ ім. І. Франка. 2004. 272 с.</p> <p>5. Куценко А., Бондар М., Чаусов М. Механіка матеріалів: навчальний посібник. – К.: Центр навчальної літератури, 2019. – 594 с.</p> <p>6. Механіка матеріалів і конструкцій: практикум для навчання в умовах інформаційно-освітнього середовища: навчальний посібник / Д.В. Бабенко, О.А. Горбенко, Н.А. Доценко. – Миколаїв: МНАУ, 2018. – 384 с.</p> <p>7. Андрейків О.Є., Долінська І.Я. Прогнозування залишкового ресурсу труб нафтогазопроводів з урахуванням умов експлуатації і деградації їх матеріалів. – Київ: Наукова думка, 2023. – 268 с.</p> <p style="text-align: center;"><i>Література додаткова</i></p> <p>8. Фізико-хімічна механіка матеріалів;</p> <p>9. Вісник Львівського університету. Серія механіко-математична;</p> <p>10. Математичні методи та фізико-механічні поля.</p>
<p>Обсяг курсу</p>	<p>Загальний обсяг: 120 годин. Аудиторних занять: 56 год., з них 28 години лекцій та 28 години лабораторних занять. Самостійної роботи: 64 годин.</p>
<p>Очікувані результати навчання</p>	<p>У результаті вивчення навчальної дисципліни студент повинен знати:</p> <ul style="list-style-type: none"> - вплив поверхнево-активних середовищ на характеристики деформування і руйнування твердих тіл; вплив воденьвмісних середовищ на деформування і руйнування металевих матеріалів; - вплив корозійно-агресивних середовищ на деформування і руйнування металевих матеріалів; <p>вміти:</p> <ul style="list-style-type: none"> - визначати залишковий ресурс металевих елементів конструкцій за дії довготривалого статичного розтягу і воденьвмісних середовищ; - оцінювати залишковий ресурс металевих елементів конструкцій за дії довготривалого статичного розтягу і корозійно-агресивних середовищ. <p>У результаті засвоєння матеріалу даного курсу студент набуде таких загальних (ЗК) і фахових (ФК) компетентностей:</p> <p>ЗК03. Здатність генерувати нові ідеї (креативність).</p> <p>ЗК05. Здатність проведення досліджень на відповідному рівні.</p> <p>ФК01. Здатність використовувати й адаптувати математичні теорії, методи та прийоми для доведення математичних тверджень і теорем.</p> <p>ФК02. Здатність виконувати завдання, сформульовані у математичній формі.</p> <p>ФК03. Здатність обирати та застосовувати математичні методи для розв’язання прикладних задач, моделювання, аналізу, проектування, керування, прогнозування, прийняття рішень.</p> <p>ФК13. Здатність зрозуміти постановку завдання, сформульовану мовою певної предметної галузі, здійснювати пошук та збір необхідних вихідних даних.</p>

	<p>ФК14. Здатність сформулювати математичну постановку задачі, спираючись на постановку мовою предметної галузі, та обирати метод її розв'язання, що забезпечує потрібні точність і надійність результату.</p> <p>ФК18. Здатність проводити експерименти з механіки, створювати відповідне програмне забезпечення для побудови числових розв'язків задач механіки;</p> <p>і здобуде такі результати навчання (РН):</p> <p>РН03. Формалізувати задачі, сформульовані мовою певної предметної галузі; формулювати їх математичну постановку та обирати раціональний метод вирішення; розв'язувати отримані задачі аналітичними та чисельними методами, оцінювати точність та достовірність отриманих результатів.</p> <p>РН06. Володіти основними методами розробки дискретних і неперервних математичних моделей об'єктів та процесів, аналітичного дослідження цих моделей на предмет існування та єдиності їх розв'язку.</p> <p>РН07. Вміти проводити практичні дослідження та знаходити розв'язок некоректних задач.</p> <p>РН12. Розв'язувати окремі інженерні задачі та/або задачі, що виникають принаймні в одній предметній галузі: в соціології, економіці, екології та медицині.</p> <p>РН22. Досліджувати математичні моделі з використанням сучасних розділів механіки.</p>
Ключові слова	<p>Фізико-хімічна механіка матеріалів, агресивні середовища, воденьвмісні середовища, корозійно-агресивні середовища, ресурс (залишковий ресурс) елементів конструкцій, розрахункові моделі.</p>
Формат курсу	<p>Очний.</p>
Теми	<ol style="list-style-type: none"> 1. Основні постулати ФХММ. 2. Вплив стану поверхні і поверхнево-активних речовин на процеси деформації і руйнування твердих тіл. 3. Вплив стану поверхні на пластичність кристалів. 4. Вплив адсорбції на міцність твердих тіл. 5. Закономірності впливу водню на ріст тріщин в металах. Загальна характеристика суті проблеми водневої деградації металів і її стану на початок ХХІ століття. 6. Дія водню на міцність і руйнування металів. Адсорбція водню. Вплив водню на поверхневу енергію. 7. Розчинність водню, його взаємодія з ґраткою металу та дефектами. Дифузія водню у металах. 8. Основні види водневої деградації. Аналіз основних механізмів впливу водню на деформування і руйнування заліза і сталей. 9. Воднево-механічне руйнування металічних матеріалів. Розподіл дифузійного водню в околі вершини тріщини в деформованому металі. 10. Кінетика поширення тріщин у металах при дії газоподібного водню і довготривалих статичних навантажень. Електрохімічна ситуація біля поверхні металу в електроліті при його наводненні. 11. Деякі положення теорії електрохімічної корозії металів. 12. Знаходження електричних полів в розчинах електролітів біля різнопотенційних поверхонь металу. 13. Первинне електричне поле в електроліті біля смугоподібного дефекту поверхні металу. 14. Первинне електричне поле в електроліті для клиновидного розрізу. Первинне електричне поле для тріщини між діелектричним покриттям і металом.

	<p>15. Розподіл струмів біля пошкодження кругової форми покриття металевого тіла. Дифузія в розчині електроліту іонів водню до поверхні металу.</p> <p>16. Визначення концентрації водню в зоні передруйнування біля вершини корозійно-втомної тріщини.</p>
Підсумковий контроль, форма	Екзамен.
Пререквізити	<p>Для вивчення дисципліни студенти потребують базові знання з дисциплін:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Опір матеріалів; • Основи механіки суцільного середовища; • Математичні моделі механіки суцільного середовища; • Теорія пружності і пластичності; • Рівняння математичної фізики.
Навчальні методи та техніки, які будуть використовуватися під час викладання курсу	Інформаційні методи (лекція, бесіда, ілюстрація, демонстрація); дедуктивні методи на основі узагальнень; евристичні методи (проблемна лекція); інтерактивні методи (дискусія).
Необхідне обладнання	<p>Для проведення лекційних занять: комп'ютер (мінімальні характеристики: процесор Intel Core i3, 4ГБ оперативної пам'яті), доступ до мережі Internet, засоби мультимедіа (в т.ч. проектор).</p> <p>Для проведення практичних/лабораторних занять: комп'ютер (мінімальні характеристики: процесор Intel Core i3, 4ГБ оперативної пам'яті), доступ до мережі Internet.</p> <p>Необхідне програмне забезпечення включає в себе ОС Windows 10, програмні додатки (MS Teams).</p>
Критерії оцінювання (окремо для кожного виду навчальної діяльності)	<p>Оцінювання проводиться за 100-бальною шкалою. Бали нараховуються за наступним співвідношенням:</p> <ul style="list-style-type: none"> • модульний контроль № 1: 25% семестрової оцінки, максимальна кількість балів 25. • модульний контроль № 2: 25% семестрової оцінки, максимальна кількість балів 25; • екзамен: 50% семестрової оцінки, максимальна кількість балів 50. <p>Підсумкова максимальна кількість балів за семестр 100.</p> <p>Письмові роботи: Очікується, що студенти виконають дві письмові роботи (два тести з теоретичних і практичних занять).</p> <p>Академічна доброчесність: Очікується, що роботи студентів будуть їх оригінальними дослідженнями чи міркуваннями. Відсутність посилань на використані джерела, фабрикавання джерел, списування, втручання в роботу інших студентів становлять, але не обмежують, приклади можливої академічної недоброчесності. Виявлення ознак академічної недоброчесності в письмовій роботі студента є підставою для її незарахування викладачем, незалежно від масштабів плагіату чи обману.</p> <p>Відвідання занять є важливою складовою навчання. Очікується, що всі студенти відвідають усі лекції та практичні заняття курсу. Студенти повинні інформувати викладача про неможливість відвідати заняття. У будь-якому випадку студенти зобов'язані дотримуватися термінів визначених для виконання всіх видів письмових робіт та індивідуальних завдань, передбачених курсом.</p> <p>Література. Уся література, яку студенти не зможуть знайти самостійно,</p>

	<p>буде надана викладачем виключно в освітніх цілях без права її передачі третім особам. Студенти заохочуються до використання також й іншої літератури та джерел, яких немає серед рекомендованих.</p> <p>Політика виставлення балів. Враховуються бали набрані при поточному тестуванні, самостійній роботі та бали підсумкового тестування. При цьому обов'язково враховуються присутність на заняттях та активність студента під час практичного заняття; недопустимість пропусків та запізнь на заняття; користування мобільним телефоном, планшетом чи іншими мобільними пристроями під час заняття в цілях не пов'язаних з навчанням; списування та плагіат; несвоєчасне виконання поставленого завдання і т. ін.</p> <p>Жодні форми порушення академічної доброчесності не толеруються.</p> <p>Оцінювання модульного контролю та екзамену відбувається шляхом оцінки письмових відповідей студента на поставлені запитання. Відсотки нарахування балів оцінювання відповіді на кожне запитання нараховуються за наступним співвідношенням: 75-100% – тема відтворюється в повному обсязі, правильно, обгрунтовано, логічно; 50-75% – відтворюється значна частина розглянутої теми, проте присутні неточності та/або невідповідності; 25-50% – виявлено множинні неточності та невідповідності, пояснення відсутні чи частково помилкові; 0-25% – тему майже не розкрито, кількість викладеного матеріалу не відповідає загальним нормам обраного виду роботи.</p> <p>Критерії оцінювання результатів неформальної освіти: Нарахування балів відбувається за публікацію студентом тез доповідей на конференціях, наукових статей, за участь студента у діяльності наукових гуртків, семінарів, круглих столів, конкурсів, участь у заходах неформальної освіти, за отримання сертифікатів про проходження навчання на різних освітніх платформах (Coursera, Prometheus тощо), курсах провідних ІТ компаній за тематикою навчальної дисципліни. Кількість балів визначається відсотком покриття результатів відповідної активності до вимог результатів навчання з навчальної дисципліни.</p>
<p>Питання до екзамену</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Механізми впливу поверхнево-активних речовин на поверхневі властивості матеріалів. 2. Негативні властивості водню. 3. Основні характеристики, що визначають дифузію водню в металевий матеріал. 4. Найбільш руйнівна корозія по відношенню до металевих матеріалів. 5. Електроліт. 6. Основні механізми дії середовища, які враховуються при моделюванні поширення корозійно-механічних тріщин. 7. Концентрація водню в зоні передруйнування біля контуру тріщини. 8. Негативна дія водню на металеві матеріали. 9. Ресурс біметалевого елемента за дії водню і довготривалого статичного навантаження та змінних температурних полів. 10. Як змінюється ресурс металевих елементів конструкцій за дії на них корозійно-агресивних середовищ? 11. При визначенні залишкового ресурсу труб з поверхневими тріщинами за дії внутрішнього довготривалого тиску і корозійного середовища, який є основний критерій вичерпання їх довговічності? 12. Як змінюється поверхнева енергія металевих матеріалів при дії на

	його поверхню водню? 13. Ефект Ребіндера. 14. Ефект зменшення поверхневої енергії внаслідок фізичних або хімічних процесів на поверхні твердих тіл.
Опитування	Анкету-оцінку з метою оцінювання якості курсу буде надано по завершенні курсу.

Схема курсу

Тижні	Тема, план, короткі тези	Форма діяльності (заняття)	Література, ресурси в інтернеті	Завдання год.	Термін виконання
1	Основні постулати ФХММ. Вплив стану поверхні і поверхнево-активних речовин на процеси деформації і руйнування твердих тіл.	лек., 2 год. лаб., 2 год.	[1-3]	Визначити залишковий ресурс нескінченної пластини з центральною тріщиною, яка піддана в нескінченних точках розтягу рівномірно розподіленими зусиллями інтенсивності P і воденьвмісному середовищу. Привести приклад. (10 годин)	1-2 тижні з початку 8-го семестру
2	Вплив стану поверхні на пластичність кристалів.	лек., 2 год. лаб., 2 год.	[1-3]		
3	Вплив адсорбції на міцність твердих тіл. Закономірності впливу водню на ріст тріщин в металах. Загальна характеристика суті проблеми водневої деградації металів і її стану на початок XXI століття.	лек., 2 год. лаб., 2 год.	[1-3, 5]	Визначити залишковий ресурс нескінченної пластини з двома пів нескінченними тріщинами (на одній лінії), яка піддана в нескінченних точках розтягу силами P і воденьвмісному середовищу. Привести приклад. (10 годин)	3-4 тижнів з початку 8-го семестру
4	Дія водню на міцність і руйнування металів. Адсорбція водню. Вплив водню на поверхневу енергію.	лек., 2 год. лаб., 2 год.	[3, 4]		
5	Розчинність водню, його взаємодія з граткою металу та дефектами. Дифузія	лек., 2 год. лаб., 2 год.	[3, 4]	Визначити залишковий ресурс нескінченної	5-7 тижнів з початку

	водню у металах.			пластини з центральною тріщиною, яка піддана в нескінченних точках розтягу рівномірно розподіленими зусиллями інтенсивності P і корозійно агресивному середовищу. Привести приклад. (12 годин)	8-го семестру
6	Основні види водневої деградації. . Аналіз основних механізмів впливу водню на деформування і руйнування заліза і сталей.	лек., 2 год. лаб., 2 год.	[3, 4]		
7	Воднево-механічне руйнування металічних матеріалів. Розподіл дифузійного водню в околі вершини тріщини в деформованому металі. Модульний контроль № 1	лек., 2 год. лаб., 2 год.	[3, 4]		
8	Кінетика поширення тріщин у металах при дії газоподібного водню і статичних навантажень. Електрохімічна ситуація біля поверхні металу в електроліті при його наводненні.	лек., 2 год. лаб., 2 год.	[3, 4]	Визначити залишковий ресурс нескінченної пластини з двома пів нескінченними тріщинами (на одній лінії), яка піддана в нескінченних точках розтягу силами P і корозійно агресивному середовищу. Привести приклад. (10 годин)	8-10 тижнів з початку 8-го семестру
9	Деякі положення теорії електрохімічної корозії металів.	лек., 2 год. лаб., 2 год.	[4-7]		
10	Знаходження електричних полів в розчинах електролітів біля різнопотенційних поверхонь металу.	лек., 2 год. лаб., 2 год.	[4-7]		
11	Первинне електричне поле в електроліті біля смугоподібного дефекту поверхні	лек., 2 год. лаб., 2 год.	[4-7]	Визначити залишковий ресурс нескінченного	11-12 тижнів з початку

	металу.			циліндра з зовнішньою кільцевою тріщиною, який підданий розтягу зусиллям P і воденьвмісному середовищу. Привести приклад. (10 годин)	8-го семестру
12	Первинне електричне поле в електроліті для клиновидного розрізу. Первинне електричне поле для тріщини між діелектричним покриттям і металом.	лек., 2 год. лаб., 2 год.	[4-7]		
13	Розподіл струмів біля пошкодження кругової форми покриття металевого тіла. Дифузія в розчині електроліту іонів водню до поверхні металу.	лек., 2 год. лаб., 2 год.	[4-7]	Визначити залишковий ресурс нескінченного циліндра з зовнішньою кільцевою тріщиною,	13-14 тижднів з початку 8-го семестру
14	Визначення концентрації водню в зоні передруйнування біля вершини корозійно-втомної тріщини. Модульний контроль № 2.	лек., 2 год. лаб., 2 год.	[1, 3, 4]	який підданий розтягу зусиллям P і корозійно агресивному середовищу. Привести приклад. (12 годин)	