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 27.08.2025 р.)

В.о. завідувача кафедри механіки
_____ Володимир СТАНКЕВИЧ

Силабус із навчальної дисципліни "Механіка функціонально-градієнтних матеріалів", що викладається в межах ОПП "Інформаційні технології моделювання механічних процесів і систем" другого (магістерського) рівня вищої освіти для здобувачів зі спеціальності F1 "Прикладна математика"

Львів 2025 р.

Назва дисципліни	Механіка функціонально-градієнтних 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	F – Інформаційні технології F1 – Прикладна математика
Викладачі дисципліни	Звізло Іван Степанович, кандидат фізико-математичних наук, доцент, доцент кафедри механіки
Контактна інформація викладачів	ivan.zvizlo@lnu.edu.ua https://new.mmf.lnu.edu.ua/employee/zvizlo-i-s
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/
Інформація про дисципліну	Дисципліна “Механіка функціонально-градієнтних матеріалів” є вибірковою дисципліною для студентів спеціальності F1 Прикладна математика, яка викладається в 2-му семестрі в обсязі 6-ох кредитів (за Європейською Кредитно-Трансферною Системою ECTS).
Коротка анотація дисципліни	Завдання навчальної дисципліни полягає в тому, що при вивченні курсу студенти засвоюють систему понять для моделювання поведінки функціонально-градієнтних матеріалів. У функціонально градієнтному матеріалі як склад, так і структура поступово змінюються в об'ємі, що призводить до відповідних змін властивостей матеріалу. Структурна одиниця функціонально градієнтного матеріалу називається елементом або інгредієнтом матеріалу. Це концептуальна одиниця для побудови функціонально градієнтного матеріалу, яка включає різні аспекти його хімічного складу, фізичного стану та геометричної конфігурації.
Мета та цілі дисципліни	*Мета*: формування у майбутніх спеціалістів повноцінних теоретичних знань та практичних навичок для дослідження функціонально-градієнтних матеріалів, дати математичний апарат для моделювання, вказати конкретні області застосування, грунтовно ознайомити з класичною механікою для формування. *Цілі*: викласти основні теоретичні та практичні аспекти застосування функціонально-градієнтних матеріалів та базові методи моделювання.

Література для вивчення дисципліни	1. Miyamoto Y., Kaysser W.A., Rabin B.H., Kawasaki A., Ford G.R. Functionally graded materials: design, processing, and applications. New York: Springer Science. – 1999, – 339 p. 2. Yan L., Zuying F., Liang H., Lijing H., Chenxing X., Yushen W., Emiliano B., Khamis E., Han Z., Zheng L., Feifei Y., Ton P. A review on functionally graded materials and structures via additive manufacturing // Advanced Materials Technologies. – Vol. 5. No. 6. – 1900981. – 2020. 3. Weikai L., Baohong H. Research and Application of Functionally Gradient Materials // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering, – Vol. 394. – 2018. – 022065. 4. Yaotian L. Research and application of functionally gradient materials // Metal Functional Materials. – 2000. – Vol. 7 (4). – P. 15 - 23.
Обсяг курсу	Загальний обсяг: 180 годин. Аудиторних занять: 64 год., з них 32 години лекцій та 32 години лабораторних робіт. Самостійної роботи: 116 год.
Очікувані результати навчання	У результаті вивчення даного курсу студент буде: **знати**: • сферу використання функціонально-градієнтних матеріалів; • основні означення; • історія виникнення; • принципи характеризації мікроструктур; • унікальні аспекти просторово-неоднорідних матеріалів; **вміти:** • оцінювати властивості матеріалів; • визначати теплофізичні властивості; • визначати механічні властивості; • визначати електричні властивості.
Ключові слова	Функціонально-градієнтні матеріали, просторово-неоднорідні матеріали, дискретно шаруваті структури, теплофізичні та механічні властивості.
Формат курсу	Очний.
Теми	1. Функціонально-градієнтні матеріали. Основні означення та історія виникнення. Сфери їх використання; 2. Природний процес оптимізації: адаптивне моделювання за допомогою клітинного механосенсора; 3. Принципи характеризації мікроструктур. Передісторія. Параметри кристалів. Геометричні параметри; 4. Унікальні аспекти просторово-неоднорідних матеріалів. Основні моменти. Характерні розміри; 5. Дискретно шаруваті структури. Підходи до моделювання; 6. Оцінка властивостей матеріалів. Підходи мікромеханіки; 7. Теплофізичні та механічні властивості; 8. Електричні властивості; 9. Обробка та виготовлення; 10. Дифузія у твердому та рідкому стані; 11. Передові технології виробництва; 12. Застосування функціонально-градієнтних матеріалів; 13. Застосування в системах перетворення енергії;

	14. Компоненти для паливних елементів.
Підсумковий контроль, форма	Залік у кінці семестру
Пререквізити	Для вивчення даного курсу студенти потрібні базові знання з: - алгебри і геометрії; - математичного аналізу; - диференціальних рівнянь; - рівнянь 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	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). Для проведення практичних/лабораторних занять: комп'ютер (мінімальні характеристики: процесор Intel Core i3, 4ГБ оперативної пам'яті), доступ до мережі Internet. Необхідне програмне забезпечення включає в себе ОС Windows 10, програмні додатки (MS Teams, ZOOM).
Критерії оцінювання (окремо для кожного виду навчальної діяльності)	Оцінювання проводиться за 100-бальною шкалою. Бали нараховуються за наступним співвідношенням: • Написання контрольної роботи № 1: 30% семестрової оцінки кожна; максимальна кількість балів за контрольну роботу 30; • Написання контрольної роботи № 2: 30% семестрової оцінки кожна; максимальна кількість балів за контрольну роботу 30; • Написання колоквіуму: 40% семестрової оцінки; максимальна кількість балів 40; Підсумкова максимальна кількість балів за 3 семестр – 100. **Академічна доброчесність:** Очікується, що роботи студентів будуть їх оригінальними дослідженнями чи міркуваннями. Відсутність посилань на використані джерела, фабрикування 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 незарахуванння викладачем, незалежно від масштабів плагіату чи обману. **Відвідання занять** є важливою складовою навчання. Очікується, що всі студенти відвідають усі лекції та практичні зайняття 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. **Література.** Уся література, яку студенти не зможуть знайти самостійно, 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. **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 запізнень 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. Жодні форми порушення академічної доброчесності не толеруються. **Оцінювання контрольної роботи:** кожна контрольна робота складається є трьох задач (0-5 балів за одну задачі). **Бали оцінювання написаної студентом одної задачі на контрольній роботі нараховуються за наступним співвідношенням:** 5 – задача цілком і повністю відображає умову, містить правильні висновки, ілюстрований відповідними рисунками, які правильно відображають хід розв'язку задачі, студент має повне розуміння розглянутої теми, відповіді до задачі є повністю правильними; 4 – задача в достатній мірі відображає хід розв'язку, містить допустимі висновки та відповіді рисунками з векторами, проте присутні незначні неточності та незначні помилки у відповідях; 3 – задача містить загальні формулювання теорем та формул, хід розв'язку нечіткий або зроблений не до кінця, на рисунках зображені не всі вектори, деякі з них направлені невірно, студент розуміє розглянутий матеріал, відповіді на запитання до задачі наведені не всі; 2 – задача містить загальні формулювання теорем та формул, висновки нечіткі, необхідні рисунки погані та не до кінця зроблені, всі вектори на рисунках не зображені, студент не досить добре розуміє розглянутий матеріал, надає неточні/не конкретні відповіді на запитання до задачі; 1 – викладки форму чи висновки з теорем необґрунтовані чи неповні, необхідні рисунки відсутні або зроблені недобре, студент погано розуміє розглянутий матеріал, студент в більшості надає помилкові відповіді на запитання до задачі; 0 – розв'язок задачі відсутній або не відповідає умові, студент зовсім не засвоїв розглянутий матеріал. **Оцінювання колоквіуму** відбувається шляхом перевірки написаної студентом в аудиторії письмової роботи, яка складаються з 20 запитань (0-2 балів за одне запитання). **Бали оцінювання відповіді на запитання колоквіуму:** 2 – відповідь на запитання написана повністю правильна, містить відповідні формули, рисунки та формулювання означень, теорем чи тверджень; 1 – відповідь на запитання написана частково правильна або є неповною, містить формули з помилками, рисунки зроблені неповністю, формулювання означень, теорем чи тверджень є неповним; 0 – відповідь відсутня/не відповідає сформульованому запитанню. **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 IT компаній за тематикою навчальної дисципліни. Кількість балів визначається відсотком покриття результатів відповідної активності до вимог результатів навчання з навчальної дисципліни.
Питання до колоквіуму	1. Функціонально-градієнтні матеріали; 2. Основні означення та історія виникнення; 3. Сфери їх використання; 4. Природний процес оптимізації: адаптивне моделювання за допомогою клітинного механосенсора; 5. Принципи характеризації мікроструктур; 6. Параметри кристалів; 7. Геометричні параметри; 8. Унікальні аспекти просторово-неоднорідних матеріалів; 9. Основні моменти; 10. Характерні розміри; 11. Дискретно шаруваті структури; 12. Підходи до моделювання; 13. Оцінка властивостей матеріалів; 14. Підходи мікромеханіки; 15. Теплофізичні та механічні властивості; 16. Електричні властивості; 17. Обробка та виготовлення; 18. Дифузія у твердому та рідкому стані; 19. Передові технології виробництва; 20. Застосування функціонально-градієнтних матеріалів; 21. Застосування в системах перетворення енергії; 22. Компоненти для паливних елементів.
Опитування	Анкету-оцінку з метою оцінювання якості курсу буде надано по завершенню курсу.

Схема курсу

Тиж.	Тема, план, короткі тези	Форма діяльності (заняття)	Література. Ресурси в інтернеті	Завдання, год.	Термін виконання
1	Функціонально-градієнтні матеріали. Основні означення та історія виникнення. Сфери їх використання.	лек.	[1-4]	4	1 тиждень
1	Функціонально-градієнтні матеріали. Основні означення та історія виникнення. Сфери їх використання.	лаб.	[1-4]	4	1 тиждень
2	Природний процес оптимізації: адаптивне моделювання за допомогою клітинного механосенсора.	лек.	[1-4]	4	1 тиждень
2	Природний процес оптимізації: адаптивне моделювання за допомогою клітинного механосенсора.	лаб.	[1-4]	4	1 тиждень
3	Принципи характеризації мікроструктур. Передісторія. Параметри кристалів. Геометричні параметри.	лек.	[1-4]	4	1 тиждень
3	Принципи характеризації мікроструктур. Передісторія. Параметри кристалів. Геометричні параметри.	лаб.	[1-4]	4	1 тиждень
4	Унікальні аспекти просторово-неоднорідних матеріалів. Основні моменти. Характерні розміри.	лек.	[1-4]	4	1 тиждень
4	Унікальні аспекти просторово-неоднорідних матеріалів. Основні моменти. Характерні розміри.	лаб.	[1-4]	4	1 тиждень
5	Дискретно шаруваті структури. Підходи до моделювання	лек.	[1-4]	4	1 тиждень
5	Дискретно шаруваті структури. Підходи до моделювання	лаб.	[1-4]	4	1 тиждень
6	Оцінка властивостей матеріалів. Підходи	лек.	[1-4]	4	1 тиждень

	мікромеханіки.				
6	Оцінка властивостей матеріалів. Підходи мікромеханіки.	лаб.	[1-4]	4	1 тиждень
7	Теплофізичні та механічні властивості.	лек.	[1-4]	4	1 тиждень
7	Теплофізичні та механічні властивості.	лаб.	[1-4]	4	1 тиждень
8	Теплофізичні та механічні властивості.	лек.	[1-4]	4	1 тиждень
8	**Контрольна робота № 1**	лаб.	–	–	–
9	Електричні властивості	лек.	[1-4]	4	1 тиждень
9	Електричні властивості	лаб.	[1-4]	4	1 тиждень
10	Обробка та виготовлення.	лек.	[1-4]	4	1 тиждень
10	Обробка та виготовлення	лаб.	[1-4]	4	1 тиждень
11	Дифузія у твердому та рідкому стані	лек.	[1-4]	4	1 тиждень
11	Дифузія у твердому та рідкому стані	лаб.	[1-4]	4	1 тиждень
12	Передові технології виробництва	лек.	[1-4]	4	1 тиждень
12	Передові технології виробництва	лаб.	[1-4]	4	1 тиждень
13	Застосування функціонально-градієнтних матеріалів	лек.	[1-4]	4	1 тиждень
13	Застосування функціонально-градієнтних матеріалів	лаб.	[1-4]	4	1 тиждень
14	Застосування в системах перетворення енергії.	лек.	[1-4]	4	1 тиждень
14	Застосування в системах перетворення енергії.	лаб.	[1-4]	4	1 тиждень
15	Компоненти для паливних елементів.	лек.	[1-4]	4	1 тиждень
15	Компоненти для паливних елементів.	лаб.	[1-4]	4	1 тиждень
16	**Контрольна робота № 2**	лек.	–	–	–
16	**Колоквіум** **Залік**	лаб.	–	–	–
			Разом:	116	–