

**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

*Александр Андреевич*  
Олександр АНДРЕЙКІВ

**Силабус з навчальної дисципліни**  
**“Лабораторії спеціалізації з опору матеріалів та фотопружності”,**  
**що викладається в межах першого (бакалаврського) рівня**  
**вищої освіти для здобувачів з спеціальності**  
**113 – Прикладна математика**

Львів 2023 р.

<b>Назва дисципліни</b>	Лабораторії спеціалізації з опору матеріалів та фотопружності
<b>Адреса викладання дисципліни</b>	Головний корпус Львівського національного університету імені Івана Франка, м. Львів, вул. Університетська 1, 79000
<b>Факультет та кафедра, за якою закріплена дисципліна</b>	Механіко-математичний факультет Кафедра механіки
<b>Галузь знань, шифр та назва спеціальності</b>	11 Математика та статистика 113 Прикладна математика
<b>Викладачі дисципліни</b>	Кузь Ігор Степанович, доцент кафедри механіки, кандидат фізико-математичних наук, доцент
<b>Контактна інформація викладачів</b>	<a href="mailto:ihor.kuz@lnu.edu.ua">ihor.kuz@lnu.edu.ua</a> ; <a href="http://new.mmf.lnu.edu.ua/employee/kuz-i-s">http://new.mmf.lnu.edu.ua/employee/kuz-i-s</a> ; Головний корпус ЛНУ ім. І. Франка, каб. 148. м. Львів, вул. Університетська, 1
<b>Консультації з питань навчання по дисципліні відбуваються</b>	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.
<b>Сторінка курсу</b>	<a href="https://new.mmf.lnu.edu.ua/course/laboratorii-spetsializatsii-z-oporu-materialiv-ta-fotopruzhnosti-113-prykladna-matematyka">https://new.mmf.lnu.edu.ua/course/laboratorii-spetsializatsii-z-oporu-materialiv-ta-fotopruzhnosti-113-prykladna-matematyka</a>
<b>Інформація про дисципліну</b>	Дисципліна “Лабораторії спеціалізації з опору матеріалів та фотопружності” є вибірковою навчальною дисципліною циклу професійної і практичної підготовки зі спеціальності 113 – Прикладна математика для освітньої програми “Математичне моделювання та комп’ютерна механіка”, яка викладається в 5-му семестрі обсягом 4-и кредити (за Європейською Кредитно-Трансферною Системою ECTS).
<b>Коротка анотація дисципліни</b>	“Лабораторії спеціалізації з опору матеріалів та фотопружності” є частиною експериментальної механіки деформівного твердого тіла, в рамках якої розроблено методи експериментального визначення деформацій, напружень та фізичних характеристик матеріалів. Застосування цих методів на натурних конструкціях та їх моделях, виконаних у певному масштабі, уможливають проведення досліджень напружено-деформованого стану, міцності, витривалості деформівних елементів машин і конструкцій. Вивчення дисципліни розвиває у студентів здатність перевірки адекватності і придатності числово-експериментальної моделі з метою технічної симуляції поведінки реальних конструкцій та оцінки розбіжностей між експериментом і теорією.
<b>Мета та цілі дисципліни</b>	<b>Мета:</b> засвоєння студентами теоретичних основ випробовування матеріалів і практичних даних фізичних вимірювань, а також основ методу фотопружності. <b>Цілі:</b> вміння студентів працювати з вимірювальною технікою, розвиток практичних навичок отримання експериментальних даних про напруження, деформації, переміщення, які виникають в елементах конструкцій під дією зовнішніх механічних навантажень; співставлення отриманих даних з відомими розрахунковими параметрами, отриманими

	аналітичними/ числовими методами механіки.
<b>Література для вивчення дисципліни</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Стрижало В.О., Бородій М.В. Експериментальні методи в механіці деформівного твердого тіла. Навч. посібник – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 306 с.</li> <li>2. Богданов В.Л., Жук Я.О., Богданова О.С. Основи експериментальних методів механіки деформівного твердого тіла. – Київ: Академперіодика, 2016. – 280 с.</li> <li>3. Андрейків О.Є., Штаюра С.Т. Експериментальна механіка матеріалів. Ч. 1 – Львів: В-во ЛНУ, 2003. – 272 с. .</li> <li>4. Швабюк В.І. Опір матеріалів. Київ: Знання, 2016. – 400 с.</li> <li>5. Freddi A., Olmi G., Cristofolini L. Experimental Stress Analysis for Materials and Structures. – Springer, 2015. – 509 p.</li> <li>6. Subhash G., Ridgeway Sh. Mechanics of Materials Laboratory Course. – Morgan &amp; Claypool Publ., 2018. – 228 p.</li> <li>7. Strain Gage Technology. Student Manual. – 2020. – 88 p.</li> <li>8. Грилицький Д.В., Сорокатию Ю.В. Механічні і оптичні методи дослідження напружено-деформованого стану тіл. – Львів: ЛДУ, 1984. – 59 с.</li> <li>9. Драган М.С. Методичні вказівки щодо методики експериментальних досліджень напружено-деформованого стану твердих тіл. – Львів, 1983. – 36 с.</li> </ol>
<b>Обсяг курсу</b>	Загальний обсяг: 120 годин. Аудиторних занять: 64 год., з них 32 години лекційних та 32 години лабораторних робіт. Самостійної роботи: 56 год.
<b>Очікувані результати навчання</b>	<p>У результаті вивчення даного курсу студент буде</p> <p><b>знати:</b> правила техніки безпеки, стандарти щодо випробування матеріалів, фізико-механічні основи методу фотопружності;</p> <p><b>вміти:</b> користуватись випробувальним устаткуванням, вимірювальними приладами (штангенциркуль, мікромметр, мікроскоп); обробляти дані фізичних вимірювань та знаходити оптимальну апроксимацію аналітичною формулою вимірюваних величин; визначати оптичні характеристики моделей: поле ізохром (смуг), поле ізоклин, оптичну різницю ходу, ціну смуги і оптичну сталу; обчислювати компоненти тензора напружень за визначеними експериментально оптичними характеристиками.</p> <p>Вивчення курсу сприяє розвитку таких надпрофесійних навичок (soft skills):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• навички роботи в команді;</li> <li>• навички критичного мислення.</li> </ul>
<b>Ключові слова</b>	Розривна машина, похибка вимірювання, зміцнення, координатно-синхронний поляриметр, поляризаційно-проекційний прилад, закон Вертгейма
<b>Формат курсу</b>	Очний.
<b>Теми лекцій</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Інструктаж з техніки безпеки на робочому місці. Роль і місце експерименту в розвитку сучасної механіки. Постулат макроскопічної визначеності.</li> <li>2. Дослідження матеріалів на розривній машині. Визначення основних характеристик матеріалів в досліді на розтяг.</li> <li>3. Умови експерименту: вплив температури, швидкості прикладання навантаження, швидкості деформування. Релаксація, повзучість, післядія. Закон Гука. Пружна і пластична деформація. Зміцнення. Ефект Баушінгера. Модуль Юнга.</li> </ol>

	<ol style="list-style-type: none"> <li>4. Дослідження матеріалів при крученні круглого стрижня. Модуль зсуву. Закон Гука у формі Ляме. Пружні сталі та зв'язок між ними.</li> <li>5. Класифікація вимірювань. Похибки вимірювань. Підбір найкращого вигляду рівняння функціональної залежності за результатами вимірювань. Прийоми перевірки придатності вибраної формули без попереднього вирахування її коефіцієнтів. Табличний метод перевірки придатності формул.</li> <li>6. Способи визначення параметрів емпіричних формул. Метод найменших квадратів. Метод ортогональних поліномів Чебишева.</li> <li>7. Поняття складного процесу навантаження. Умови пластичності. Загальний постулат ізотропії. Поняття про образ процесу в п'ятивимірному просторі Ільюшина. Теорема ізоморфізму, наслідки.</li> <li>8. Частковий постулат ізотропії. Принцип запізнення, наслідки. Експериментальна їх перевірка. Поняття про сучасний експеримент на машині СН.</li> <li>9. Основи теорії моделювання. Методи визначення масштабів моделювання.</li> <li>10. Фізико-механічні основи методу фотопружності. Подвійне променезаломлення. Поляризатори.</li> <li>11. Інтерференція світлових хвиль. Інтерференція поляризованих хвиль.</li> <li>12. Світловий еліпс. Кругова поляризація Теорія п'єзооптичного ефекту.</li> <li>13. Плоский полярископ. Закон Вертгейма.</li> <li>14. Круговий полярископ.</li> <li>15. Метод смуг. Метод компенсації.</li> </ol>
<b>Теми лабораторних робіт</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Обробка результатів фізичних вимірювань.</li> <li>2. Косий згин консольної балки.</li> <li>3. Визначення центра згину поперечного перерізу швелера.</li> <li>4. Визначення модуля зсуву.</li> <li>5. Випробування матеріалів на стиск.</li> <li>6. Визначення основних механічних характеристик круглого стрижня на розривній машині.</li> <li>7. Розтяг надрізаного зразка.</li> <li>8. Визначення моменту інерції маятника Максвелла.</li> <li>9. Технологія виготовлення оптично-чутливих зразків на основі епоксидних смол.</li> <li>10. Вивчення та налагодження координатно-синхронного поляриметра.</li> <li>11. Вивчення та методика роботи на поляризаційно-проекційному приладі.</li> <li>12. Побудова поля ізоклин та ізостат і фотографування поля ізохром навантаженої моделі.</li> <li>13. Визначення ціни смуги матеріалу.</li> <li>14. Визначення оптичної сталої.</li> <li>15. Експериментальне визначення різниці головних напружень в центрі диска, стиснутого уздовж діаметра двома силами.</li> <li>16. Визначення коефіцієнта інтенсивності напружень для тріщини нормального відриву методом Ірвіна.</li> </ol>
<b>Підсумковий контроль, форма</b>	Залік у кінці семестру.
<b>Пререквізити</b>	Для вивчення курсу студенти потребують базових знань з курсів: <ul style="list-style-type: none"> <li>– тензорного аналізу;</li> <li>– теоретичної механіки;</li> <li>– опору матеріалів.</li> </ul>
<b>Навчальні ме-</b>	Інформаційні методи (лекція, бесіда, ілюстрація, демонстрація,

<p>тоди та техніки, які будуть використовуватися під час викладання курсу</p>	<p>експеримент);  дедуктивні методи на основі узагальнень;  інтерактивні методи (дискусія)</p>
<p>Необхідне обладнання</p>	<p>Розривна машина УДМ 5 т, прес 100 т, мікрометр, стенд для визначення косоного згину консольної балки та центра згину поперечного перерізу швелера, маятник Максвелла, координатно-синхронний поляриметр КСП-5, поляризаційно-проекційний прилад ППП-7.  Комп'ютер із загально вживаним програмним забезпеченням, доступ до Internet мережі.</p>
<p>Критерії оцінювання (окремо для кожного виду навчальної діяльності)</p>	<p>Оцінювання проводиться за 100-бальною шкалою. Очікується, що студенти виконають 16 аудиторних лабораторних робіт та контрольної роботи</p> <p>Бали нараховуються за наступним співвідношенням:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• оцінювання 16 лабораторних робіт по 5 балів: 80% семестрової оцінки; максимальна кількість балів 80;</li> <li>• оцінювання контрольної роботи ( 4 завдання по 5 балів) 20 балів: 20% семестрової оцінки; максимальна кількість балів 20;</li> </ul> <p>Підсумкова максимальна кількість балів 100.</p> <p><b>Академічна доброчесність:</b> Очікується, що роботи студентів будуть оригінальними дослідженнями чи міркуваннями. Списування та втручання в роботу інших студентів становлять, але не обмежують, приклади можливої академічної недоброчесності. Виявлення ознак академічної недоброчесності в написанні завдань є підставою для її незарахування викладачем, незалежно від масштабів плагіату чи обману.  Жодні форми порушення академічної доброчесності не толеруються.</p> <p><b>Відвідання занять</b> є важливою складовою навчання. Очікується, що всі студенти відвідають усі лекції та лабораторні зайняття курсу. Студенти повинні інформувати викладача про неможливість відвідати заняття. У будь-якому випадку студенти зобов'язані дотримуватися термінів визначених для виконання всіх видів робіт, передбачених курсом.</p> <p><b>Література.</b> 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.</p> <p><b>Політика виставлення балів.</b> Враховуються бали, набрані під час поточного контролю. 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.</p> <p><b>Оцінювання лабораторної роботи</b> відбувається шляхом її захисту.</p> <p><b>Бали оцінювання виконаної та захищеної студентом лабораторної роботи нараховуються так:</b></p> <p>5 – робота цілком і повністю виконана згідно вимог, містить правильні висновки і числові/експериментальні результати, ілюстрована відповідними рисунками, які правильно відображають суть виконаного завдання, студент має повне розуміння розглянутої теми, володіє лекційним матеріалом, надає правильні відповіді на запитання по темі;</p> <p>4 – робота цілком і повністю виконана згідно вимог, містить правильні</p>

	<p>висновки, але незначні хибні числові/експериментальні результати, ілюстрована відповідними рисунками, які правильно відображають суть виконаного завдання, студент має повне розуміння розглянутої теми, володіє лекційним матеріалом, надає правильні відповіді на запитання по темі;</p> <p>3 – робота частково виконана згідно вимог, містить допустимі висновки, ілюстрована рисунками, які частково відображають суть виконаного завдання, студент достатньо розуміє суть виконаної ним роботи, наявні неточності числових/експериментальних результатів, незначні помилки у відповідях на запитання по темі;</p> <p>2 – робота містить загальні формулювання завдання, висновки нечіткі, частково відсутні необхідні рисунки, студент не досить добре розуміє теоретичний матеріал, наявні похибки числових/експериментальних результатів, плутається у відповідях на запитання по темі;</p> <p>1 – робота не містить формулювання завдання, висновки необґрунтовані/неповні, потрібні рисунки відсутні, студент погано розуміє опрацьований матеріал, в більшості випадків надає хибні відповіді на питання по темі;</p> <p>0 – робота не виконана/не відповідає темі, студент зовсім не володіє матеріалом.</p> <p><b>Оцінювання завдань на контрольній роботі</b> відбувається шляхом оцінки письмових відповідей студента на поставлені завдання.</p> <p><b>Нарахування балів оцінювання відповіді на кожне завдання нараховуються так:</b></p> <p>5 – тема відтворюється в повному обсязі, правильно, обґрунтовано, логічно;</p> <p>4 – відтворюється значна частина розглянутої теми, проте присутні деякі неточності та/або невідповідності;</p> <p>3 – виявлено неточності та невідповідності, пояснення відсутні чи частково помилкові;</p> <p>2 – виявлено значні неточності та невідповідності, пояснення відсутні чи помилкові;</p> <p>1 – тему майже не розкрито, кількість викладеного матеріалу не відповідає загальним нормам обраного виду роботи.</p> <p>0 – завдання не виконане/не відповідає темі, студент зовсім не володіє матеріалом.</p>
<p><b>Питання на контрольну роботу.</b></p>	<p>Роль і місце експерименту в розвитку сучасної механіки. Постулат макроскопічної визначеності.</p> <p>Дослідження матеріалів на розривній машині. Визначення основних характеристик матеріалів в досліді на розтяг.</p> <p>Умови експерименту: вплив температури, швидкості прикладання навантаження, швидкості деформування. Релаксація, повзучість, післядія. Закон Гука. Пружна і пластична деформація. Зміцнення. Ефект Баушінгера. Модуль Юнга.</p> <p>Дослідження матеріалів при крученні круглого стрижня. Модуль зсуву. Закон Гука у формі Ляме. Пружні сталі та зв'язок між ними.</p> <p>Класифікація вимірювань. Похибки вимірювань. Підбір найкращого вигляду рівняння функціональної залежності за результатами вимірювань. Прийоми перевірки придатності вибраної формули без попереднього вирахування її коефіцієнтів. Табличний метод перевірки придатності формул.</p> <p>Способи визначення параметрів емпіричних формул. Метод найменших квадратів. Метод ортогональних поліномів Чебишева.</p> <p>Поняття складного процесу навантаження. Умови пластичності. Загальний постулат ізотропії. Поняття про образ процесу в</p>

	<p>п'ятимірному просторі Ільюшина. Теорема ізоморфізму, наслідки.  Частковий постулат ізотропії. Принцип запізнення, наслідки.  Експериментальна їх перевірка. Поняття про сучасний експеримент на машині СН.  Основи теорії моделювання. Методи визначення масштабів моделювання.  Фізико-механічні основи методу фотопружності. Подвійне променезаломлення. Поляризатори.  Інтерференція світлових хвиль. Інтерференція поляризованих хвиль.  Світловий еліпс. Кругова поляризація Теорія п'єзооптичного ефекту.  Плоский полярископ. Закон Вертгейма.  Круговий полярископ.  Метод смуг. Метод компенсації.</p>
<b>Опитування</b>	<p>Анкету-оцінку з метою оцінювання якості курсу буде надано по завершенню курсу.</p>

**Схема курсу “Лабораторії спеціалізації з опору матеріалів та фотопружності” для студентів спеціальності 113 – Прикладна математика**

<b>Тиж.</b>	<b>Тема, план, короткі тези</b>	<b>Форма діяльності (заняття)</b>	<b>Література. Ресурси в інтернеті</b>	<b>Завдання, год.</b>	<b>Термін виконання</b>
1	<b>Тема 1.</b> Роль і місце експерименту в розвитку сучасної механіки. Постулат макроскопічної визначеності.	лек.	[1-7]	1	1 тиждень
1	<b>Тема 1.</b> Обробка результатів фізичних вимірювань.	лаб.	[1-7]	2	1 тиждень
2	<b>Тема 2.</b> Дослідження матеріалів на розривній машині. Визначення основних характеристик матеріалів в досліді на розтяг.	лек.	[1-7]	1	1 тиждень
2	<b>Тема 2.</b> Косий згин консольної балки.	лаб.	[1-7]	2	1 тиждень
3	<b>Тема 3.</b> Умови експерименту: вплив температури, швидкості прикладання навантаження, швидкості деформування. Релаксація, повзучість, післядія. Закон Гука. Пружна і пластична деформація. Зміцнення. Ефект Баушінгера. Модуль Юнга.	лек.	[1-7]	1	1 тиждень
3	<b>Тема 3.</b> Визначення центра згину поперечного перерізу швелера.	лаб.	[1-7]	2	1 тиждень
4	<b>Тема 4.</b> Дослідження матеріалів при крученні круглого стрижня. Модуль зсуву. Закон Гука у формі Ляме. Пружні сталі та зв'язок між ними.	лек.	[1-4, 6-8]	2	1 тиждень
4	<b>Тема 4.</b> Визначення модуля зсуву.	лаб.	[1-7]	2	1 тиждень
5	<b>Тема 5.</b> Класифікація вимірювань. Похибки вимірювань. Підбір найкращого вигляду рівняння функціональної залежності за результатами вимірювань. Прийоми перевірки придатності вибраної формули без попереднього врахування її коефіцієнтів. Табличний метод перевірки придатності формул.	лек.	[1-7]	2	1 тиждень
5	<b>Тема 5.</b> Випробування матеріалів на стиск.	лаб.	[1-7]	2	1 тиждень
6	<b>Тема 6.</b> Способи визначення параметрів емпіричних формул. Метод найменших квадратів. Метод ортогональних поліномів Чебишева.	лек.	[1-7]	2	1 тиждень
6	<b>Тема 6.</b> Визначення основних механічних	лаб.	[1-7]	2	1 тиждень



	характеристик круглого стрижня на розривній машині.				
7	<b>Тема 7.</b> Поняття складного процесу навантаження. Умови пластичності. Загальний постулат ізотропії. Поняття про образ процесу в п'ятивимірному просторі Ільюшина. Теорема ізоморфізму, наслідки.	лек.	[1-7]	2	1 тиждень
7	<b>Тема 7.</b> Розтяг надрізаного зразка.	лаб.	[1-7]	2	1 тиждень
8	<b>Тема 8.</b> Частковий постулат ізотропії. Принцип запізнення, наслідки. Експериментальна їх перевірка. Поняття про сучасний експеримент на машині СН.	лек.	[1-7]	2	1 тиждень
8	<b>Тема 8.</b> Визначення моменту інерції маятника Максвелла.	лаб.	[1-7]	2	1 тиждень
9	<b>Тема 9.</b> Основи теорії моделювання. Методи визначення масштабів моделювання.	лек.	[1,2,5,8, 9]	1	1 тиждень
9	<b>Тема 9.</b> Технологія виготовлення оптично-чутливих зразків на основі епоксидних смол.	лаб.	[1,2,5,8, 9]	2	1 тиждень
10	<b>Тема 10.</b> Фізико-механічні основи методу фотопружності. Подвійне променезаломлення. Поляризатори.	лек.	[1,2,5,8, 9]	1	1 тиждень
10	<b>Тема 10.</b> Вивчення та налагодження координатно-синхронного поляриметра.	лаб.	[1,2,5,8, 9]	2	1 тиждень
11	<b>Тема 11.</b> Інтерференція світлових хвиль. Інтерференція поляризованих хвиль.	лек.	[1,2,5,8, 9]	1	1 тиждень
11	<b>Тема 11.</b> Вивчення та методика роботи на поляризаційно-проекційному приладі.	лаб.	[1,2,5,8, 9]	2	1 тиждень
12	<b>Тема 12.</b> Світловий еліпс. Кругова поляризація Теорія п'єзооптичного ефекту.	лек.	[1,2,5,8, 9]	2	1 тиждень
12	<b>Тема 12.</b> Побудова поля ізоклин та ізостат і фотографування поля ізохром навантаженої моделі.	лаб.	[1,2,5,8, 9]	2	1 тиждень
13	<b>Тема 13.</b> Плоский полярископ. Закон Вертгейма.	лек.	[1,2,5,8, 9]	2	1 тиждень
13	<b>Тема 13.</b> Визначення ціни смуги матеріалу.	лаб.	[1,2,5,8, 9]	2	1 тиждень
14	<b>Тема 14.</b> Круговий полярископ.	лек.	[1,2,5,8, 9]	2	1 тиждень
14	<b>Тема 14.</b> Визначення оптичної сталості.	лаб.	[1,2,5,8, 9]	2	1 тиждень
15	<b>Тема 15.</b> Метод смуг. Метод				

	компенсації.	лек.	[1,2,5,8, 9]	2	1 тиждень
15	<b>Тема 15.</b> Експериментальне визначення різниці головних напружень в центрі диска, стиснутого уздовж діаметра двома силами.	лаб.	[1,2,5,8, 9]	2	1 тиждень
16	<b>Тема 16.</b> Визначення коефіцієнта інтенсивності напружень для тріщини нормального відриву методом Ірвіна. <b>Тема 16.</b> Проведення контрольної роботи	лаб.	[1,2,5,8, 9]	2	1 тиждень
16	<b>Тема 16.</b> Проведення контрольної роботи	лек.			
Разом:				56	