

НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ
ІНСТИТУТ ПРИКЛАДНИХ ПРОБЛЕМ МЕХАНІКИ І МАТЕМАТИКИ
ім. Я.С. ПІДСТРИГАЧА

«ЗАТВЕРДЖУЮ»



Директор ІППММ ім. Я.С. Підстригача
НАН України, академік НАН України

Роман КУШНІР

Протокол від «29»серпня 2024 року № 9

РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Моделювання та методи дослідження напруженого стану
та граничної рівноваги структурно-неоднорідних тіл
/код і назва навчальної дисципліни /

Третій рівень, доктор філософії
/рівень вищої освіти/

вид дисципліни _____ за вибором _____
(обов'язкова / за вибором)

мова викладання _____ українська _____

спеціальність _____ 113 Прикладна математика _____
/шифр і назва /

галузь знань _____ 11 Математика та статистика _____
/шифр і назва/

Львів–2024 рік

Робоча програма з навчальної дисципліни «Моделювання та методи дослідження напруженого стану та граничної рівноваги структурно-неоднорідних тіл»
для здобувачів освіти ступеня доктора філософії

Розробники:

Зав. відділу, д. ф.-м. н.,
академік НАН України, професор



Роман КУШНІР

Пров.наук.співроб., д. ф.-м. н., професор



Георгій СУЛИМ

“27” 08 2024 р.

1. Структура навчальної дисципліни

Найменування показників	Всього годин Денна форма навчання
Кількість кредитів/год.	4/120
Усього годин аудиторної роботи, у т. ч.:	60
• лекційні заняття, год.	30
• семінарські заняття, год.	-
• практичні заняття, год.	30
• лабораторні заняття, год.	-
Усього годин самостійної роботи, у т. ч.:	60
Екзамен	2

2. Мета та завдання навчальної дисципліни

2.1. Мета вивчення навчальної дисципліни

Метою вивчення навчальної дисципліни є оволодіння та розуміння аспірантами базових визначень, основних понять і положень обчислювальної механіки деформівних систем; оволодіння основними навиками математичного моделювання фізико-механічних процесів у неоднорідних елементах конструкцій з використанням математичних методів механіки деформівного твердого тіла і механіки руйнування

2.2. Завдання навчальної дисципліни відповідно до освітньої програми

В результаті вивчення дисципліни аспірант повинен знати:

- основні положення термодинамічного моделювання в механіці деформівного твердого тіла;
- підходи до формулювання математичних моделей визначення теплового і напружено-деформованого станів неоднорідних тіл;
- методику постановки узагальнених задач спряження для отримання ключових рівнянь термопружності кусково-однорідних тіл та формулювання на цій основі відповідних прямих і обернених крайових задач;
- аналітично-числові та числові методики розв'язування крайових задач теплопровідності і термопружності для кусково-однорідних і неоднорідних, зокрема термочутливих, тіл за комплексної дії теплового і силового навантажень;
- загальні відомості про фізичні основи механіки руйнування матеріалів та основні види руйнування твердих тіл;
- особливості застосування силового, деформаційного та енергетичного критеріїв механіки руйнування;
- умови поширення тріщин та технологічні способи підвищення тріщиностійкості конструкції;
- способи комп'ютерного моделювання процесів теплопереносу і пружно-пластичного деформування структурно-неоднорідних тіл та розрахункові схеми їх дослідження;
- процедуру проведення обчислювальних експериментів і аналізу його результатів.

Вивчення навчальної дисципліни передбачає формування та розвиток в аспірантів **компетентностей**:

загальних:

- 1) знання сучасних методів математичного, числового й комп'ютерного моделювання термомеханічної поведінки та граничного стану структурно-неоднорідних тіл;
- 2) критичний аналіз, оцінка і синтез нових та складних ідей;
- 3) уміння ефективно спілкуватися з широкою науковою спільнотою та громадськістю в питаннях прикладної математики;
- 4) наполегливість у досягненні мети;
- 5) здатність самостійно розвиватися і вдосконалюватися упродовж життя, відповідальність за навчання інших;
- 6) соціальна відповідальність за результати прийняття стратегічних рішень;
- 7) ініціювання оригінальних дослідницько-інноваційних комплексних проектів;
- 8) лідерство та здатність як до автономної, так і до командної роботи під час реалізації проектів;

фахових:

- 1) знання про тенденції розвитку і найбільш важливі нові розробки в області математичного, числового та комп'ютерного моделювання складних структурно-неоднорідних систем, а також суміжних областей;
- 2) розуміння сучасних наукових теорій і методів, вміння їх ефективно застосовувати для синтезу та аналізу складних процесів, систем та явищ;
- 3) здатність ефективно застосовувати аналітичні методи аналізу та математичного моделювання складних процесів та систем, виконувати комп'ютерні експерименти при проведенні наукових досліджень;
- 4) можливість інтегрувати знання з інших дисциплін, застосовувати системний підхід та враховувати нетехнічні аспекти при розв'язанні науково-прикладних задач і виконанні досліджень;
- 5) готовність розробляти та реалізовувати проекти, включаючи власні дослідження, які дають можливість переосмислювати наявні чи створювати нові знання, а також розв'язувати складні задачі в області математичного, числового та комп'ютерного моделювання.

Результати навчання даної дисципліни деталізують такі **програмні результати навчання**:

- знання та розуміння наукових й математичних принципів, що лежать в основі математичного моделювання складних структурно-неоднорідних систем;
- професійні знання основних закономірностей кількісного опису процесів в рамках моделей тепло-масо-перенесення, деформування, граничної рівноваги в структурно-неоднорідних середовищах;
- знання сучасних числових методів розв'язування крайових задач, алгоритмів та їх програмної реалізації при дослідженнях за допомогою обчислювального експерименту;
- здатність обрати раціональний метод знаходження розв'язків і побудувати алгоритм розв'язання сформульовані задачі, а також розробити відповідне програмне забезпечення для комп'ютерного моделювання;
- здатність продемонструвати поглиблені знання у вибраній спеціалізації;
- розуміння впливу технічних рішень в суспільному, економічному і соціальному контексті;
- здійснювати пошук, аналізувати і критично оцінювати інформацію з різних джерел;
- вміння провести обчислювальний експеримент та проаналізувати його результати;
- самостійно планувати й виконувати дослідження, а також оцінювати отримані результати;

- застосовувати інформаційно-комунікаційні технології та навички програмування для розв'язання задач математичного моделювання складних процесів, систем та явищ;
- поєднувати теорію і практику, а також приймати рішення та виробляти стратегію діяльності для вирішення завдань спеціалізації з урахуванням загальнолюдських цінностей, суспільних, державних та виробничих інтересів;
- самостійно виконувати наукові дослідження та застосовувати дослідницькі навички за професійною тематикою;
- застосовувати системний підхід, інтегруючи знання з інших дисциплін та враховуючи нетехнічні аспекти, під час розв'язання задач обраної спеціалізації та проведення досліджень;
- аргументувати вибір методів розв'язування спеціалізованої задачі, критично оцінювати отримані результати та захищати прийняті рішення;

3. Опис навчальної дисципліни

3.1. Лекційні заняття

№ п/п	Найменування розділів, тем	Кількість год.
1	Основні базові положення математичного моделювання в механіці пружних деформівних систем. Вектор переміщення. Тензор деформацій. Умови суцільності Сен-Венана.	2
2	Моделювання напруженого стану деформівного твердого тіла. Вектор і тензор напружень. Рівняння руху (рівноваги).	2
3	Термодинамічне моделювання деформування тіла. Закон збереження енергії для деформованого тіла. Баланс ентропії. Закон теплопровідності Фур'є. Співвідношення Дюгамеля-Неймана для анізотропного тіла.	2
4	Рівняння теплопровідності. Початкова та граничні умови для формулювання крайової задачі теплопровідності для анізотропного тіла. Постановка задачі термопружності у переміщеннях. Класифікація задач термопружності в залежності від фізико-механічних властивостей тіла.	2
5	Основні рівняння і співвідношення для неоднорідного тіла. Моделювання кусково-однорідного тіла за допомогою узагальнених функцій. Узагальнена задача спряження для лінійного диференціального рівняння.	2
6	Спосіб побудови фундаментальної системи розв'язків для лінійного диференціального рівняння із кусково-неперервними коефіцієнтами та його застосування до розв'язування задач термопружності для шаруватого тіла.	2
7	Математичні моделі термочутливого тіла. Особливості постановок на їх основі крайових задач термопружності та підходів до їх розв'язання.	2
8.	Математичні моделі тонкостінних систем. Основні гіпотези та припущення. Процедура зведення 3D до 2D задач термопружності для тонких оболонок.	2
9.	Уніфікована математична модель кусково-однорідної циліндричної оболонки з тепловими та залишковими деформаціями і дефектами структури. Способи визначення та дослідження.	2
10.	Поняття про фізичні основи механіки руйнування. Структура матеріалів. Основні види руйнування твердих тіл.	2
11.	Силовий підхід у лінійній механіці руйнування. Коефіцієнт інтенсивності напружень (КІН). Критерій руйнування Ірвіна. Пластична зона біля вершини тріщини.	2
12.	Енергетичний критерій руйнування Гріффітса. Концепція Гріффітса-Орована-Ірвіна. Стійкий і нестійкий розвиток тріщини.	2

13.	Умови поширення тріщини. Розгалуження тріщин. Технологічні способи підвищення тріщиностійкості конструкції.	2
14.	Поняття про J -інтеграл. Критичне розкриття тріщини. Модель Леонова-Панасюка-Дагдейла.	2
15.	Зв'язок силового, деформаційного та енергетичного критеріїв механіки руйнування. Поняття про втомне руйнування.	2

Усього 30 год.

3.2. Практичні заняття

№ п/п	Найменування розділів, тем	Кількість год.
1.	Математичне моделювання процесу деформування та спричиненого ним напруженого стану деформівного твердого тіла.	2
2.	Постановки нестационарних задач теплопровідності для однорідних ізотропних тіл канонічної форми за різних типів граничних умов та способи їх розв'язування.	2
3.	Постановки крайових задач термопружності для однорідних ізотропних тіл та аналітично-числові підходи до їх розв'язування.	2
4.	Узагальнена задача Коші для звичайного лінійного диференціального рівняння зі сталими коефіцієнтами та спосіб побудови її розв'язку.	2
5.	Отримання частково-вироджених рівнянь теплопровідності та термопружності у переміщеннях для шаруватого ізотропного тіла.	2
6.	Побудова фундаментальної системи розв'язків для частково-вироджених рівнянь теплопровідності з кусково-неперервними коефіцієнтами для конкретних кусково-однорідних тіл. Способи розв'язування відповідних задач термопружності.	2
7.	Формулювання та особливості розв'язування задач термопружності для неоднорідних і термочутливих тіл.	2
8.	Особливості дослідження термомеханічної поведінки тонкостінних кусково-однорідних елементів конструкцій.	2
9.	Розв'язування прямої та оберненої задач для кусково-однорідної циліндричної оболонки з тепловими та залишковими деформаціями.	2
10.	Ознайомлення з прикладами впливу дефектів на процес руйнування тіл, загальним описом структури матеріалів та особливостями крихкого, в'язкого і квазікрихкого руйнування.	2
11.	Класичний та неklasичний підходи до аналізу процесу руйнування. Формула для визначення напружень в околі вершини тріщини в узагальненому вигляді. Приклади для визначення КІН. Форми зон пластичності тріщини нормального відриву та поперечного зсуву.	2
12.	Поняття про опір зростанню тріщини. Співвідношення між КІН і швидкістю вивільнення пружної енергії.	2
13.	Поняття про R -криву, її інваріантність. Різні технологічні способи конструкційного гальмування тріщин.	2
14.	Поняття розкриття тріщини у її вершині (КРТ). Використання моделі Леонова-Панасюка-Дагдейла для дослідження пружного і пружно-пластичного деформування циліндричної оболонки з тріщинами.	2
15.	Застосування методу механічних квадратур до розв'язування сингулярних інтегральних рівнянь для задач дослідження граничної рівноваги циліндричної оболонки з різнотипними тріщинами.	2

Усього 30 год.

3.3. Самостійна робота

№ п/п	Зміст роботи	К-сть годин
1.	Виконання індивідуальних науково-дослідних завдань, к-сть/ГОД	40
2.	Підготовка до заліків та іспиту	20

Усього 60 год.

4. Оцінювання результатів засвоєння дисципліни

4.1. Урахування контрольно-моніторингових завдань

№	вид завдання	відсоток
1	Виконання завдань на практичних заняттях	25%
2	Виконання індивідуального науково-дослідного завдання	25%
3	Екзамен	50%

4.2. Загальна шкала оцінювання

При оцінюванні використовуються критерії згідно з Положенням про рейтингове оцінювання досягнень здобувачів вищої освіти в Інституті прикладних проблем механіки і математики ім. Я. С. Підстригача НАН України від 9.11.2016

http://iapmm.lviv.ua/aspirant/polozhennya_ro_K.pdf

Рекомендована література

1. *Elishakoff I., Pentaras D., Gentilini C.* Mechanics of Functionally Graded Material Structures, World Scientific Publishing Co, 2015.
2. *Guo L., Hongjun Y., Linzhi W.* Fracture Mechanics of Nonhomogeneous Materials, Springer, 2023
3. *Hetnarski R.B., Eslami M.R.* Thermal Stresses – Advanced Theory and Applications. – Springer, 2019. – 657 p.
4. *Kushnir R., Popovych V.* Application of the Generalized Functions Method for Analysis of Thermal Stresses in Piecewise-Homogeneous Solids / Encyclopedia of Thermal Stresses. R.B. Hetnarski, ed. – Springer, 2014. – Vol. 1. – P. 224-230.
5. *Kushnir R., Protsiuk B.* Determination of the Thermal Fields and Stresses in Multilayer Solids by Means of the Constructed Green Functions / Encyclopedia of Thermal Stresses. R.B. Hetnarski, ed. – Springer, 2014. – Vol. 2. – P. 924-931.
6. *Shyha I., Huo D.* Advances in Machining of Composite Materials. Conventional and Non-conventional Processes. Springer, 2021
7. *Tokovyy, Y., Ma, C.-C.* The Direct Integration Method for Elastic Analysis of Nonhomogeneous Solids. – Newcastle: Cambridge Scholars Publishing, 2021. – 329 p.
8. *Божидарник В.В., Сулим Г.Т.* Елементи теорії пластичності та міцності (у 2-х частинах): навч. пос.– Львів: Світ, 1999.– 947 с.
9. *Божидарник В.В., Сулим Г.Т.* Елементи теорії пружності: навч. пос.– Львів: Світ, 1994.– 560 с.

10. *Моделювання та оптимізація в термомеханіці електропровідних неоднорідних тіл* / Під заг. редакцією Я.Й. Бурака і Р.М. Кушніра (в 5-ти томах). Т. 3. Термопружність термочутливих тіл / Кушнір Р.М., Попович В.С. – Львів: СПОЛОМ, 2009. – 429 с.
11. *Сулим Г.Т. Основи математичної теорії термопружної рівноваги деформівних твердих тіл з тонкими включеннями.* – Львів: Досл.-вид. центр НТШ, 2007. – 716 с.