

НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ  
Інститут механіки ім. С.П. Тимошенка НАН України

ЗАТВЕРДЖУЮ  
В.о. директора Інституту механіки  
ім. С.П. Тимошенка НАН України  
академік НАН України



Володимир НАЗАРЕНКО  
«10» травня 2022 року

## РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

**Методи визначення функцій та реологічних параметрів в нелінійній теорії в'язкопружності**

для здобувачів третього освітньо-наукового рівня вищої освіти  
«доктора філософії»

галузь знань                   **11 Математика та статистика**  
спеціальність                   **113 «Прикладна математика»**  
вид дисципліни               **вибіркова**

КИЇВ-2022

**Розробники:**

Завідувач відділу механіки повзучості

Доктор техн. наук, професор

Владислав ГОЛУБ

**Робочу програму узгоджено науково-методичною радою**

Протокол від 3 грудня 2022р. № 6

Голова науково-методичної ради

**Робочу програму затверджено Вченою радою Інституту механіки  
ім. С.П.Тимошенка НАН України**

Протокол від 10 грудня 2022 року № 4

Голова Вченої ради

Володимир НАЗАРЕНКО

**Робочу програму узгоджено з гарантом освітньо-наукової програми  
(керівником програми) 113 «Прикладна математика» 3 грудня 2022р.**

Гарант освітньо-наукової програми УС Володимир НАЗАРЕНКО

Навчальні роки пролонгації	Голова Вченої ради Імех НАН України	Підпис	№ протоколу	Дата протоколу
20__ - 20__				
20__ - 20__				
20__ - 20__			3	
20__ - 20__				

©Голуб В.П., 2022

## **1. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ**

Навчальна дисципліна вільного вибору аспіранта ДВА.11 «**Методи визначення функцій та реологічних параметрів в нелінійній теорії в'язкопружності**» є теоретичною та практичною основою сукупності знань та вмінь, що формують профіль фахівця в галузі прикладної математики за спеціалізацією Інституту механіки ім. С.П. Тимошенка НАН України “Механіка деформівного твердого тіла”. Дисципліна пов’язується із освітньо-науковою програмою за спеціальністю 113 « Прикладна математика», а навчання за цим курсом тісно пов’язано із науковою діяльністю аспіранта на другому році аспірантури.

**Передумова вивчення:** Навчальна дисципліна «Методи визначення функцій та реологічних параметрів в нелінійній теорії в'язкопружності» базується на знаннях, що отримані під час здобуття ступеня магістра та обов’язкових курсів освітньо-наукової програми ДВІ.1 та ДВІ.2, які вивчаються на першому курсі аспірантури.

Найменування показників	Характеристика дисципліни
Вид дисципліни	вибіркова
Мова викладання, навчання та оцінювання	українська
Загальний обсяг кредитів / годин	4/120
Курс	2
Семестр	3
Кількість змістових модулів з розподілом	4
Обсяг кредитів	4
Обсяг академічних годин, включно:	120
Лекції	20
Практичні заняття	20
Самостійна робота	80
Форма підсумкового контролю	залік

## **2. МЕТА, ЗАВДАННЯ ТА ОЧІКУВАНІ РЕЗУЛЬТАТИ НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ**

Робоча програма навчальної дисципліни «**Методи визначення функцій та реологічних параметрів в нелінійній теорії в'язкопружності**» є нормативним документом, який розроблено на основі освітньо-наукової програми, далі ОНП, ( затверджена Вченуою радиою Інституту механіки ім. С.П. Тимошенка НАН України, протокол № 5 від 26 грудня 2017 року) підготовки здобувачів третього рівня відповідно до навчального плану спеціальності 113 «Прикладна математика».

**Мета навчальної дисципліни** «Методи визначення функцій та реологічних параметрів в нелінійній теорії в'язкопружності» полягає у набутті знань та вмінь, що є притаманні прикладній математиці зі спеціальності 113 «Прикладна математика», шляхом здобуття ними компетентностей, що є необхідними для виконання *самостійних* та оригінальних *наукових досліджень* за спеціалізацією “*Механіка деформівного твердого тіла*”, що систематично проводяться в Інституті механіки ім. С.П. Тимошенка НАН України і результати яких мають наукову новизну, теоретичне та практичне значення. Лекційний курс супроводжується індивідуальними завданнями, які аспіранти виконують під час самостійної роботи над лекціями. Ці завдання тісно пов’язуються із роботою над дисертацією, підготовкою наукових праць та доповідей на конференціях.

**Головними завданнями** вивчення навчальної дисципліни ДВА.11 «Методи визначення функцій та реологічних параметрів в нелінійній теорії в'язкопружності» є формування знань, практичних навичок та компетентностей, що потрібні для проведення самостійних кваліфікованих наукових досліджень:

- Загальні компетентності: ЗК1 – ЗК6 (відповідно до переліку загальних компетентностей ОНП).
- Спеціальні (фахові) компетентності: СК1–СК7 (відповідно до переліку спеціальних компетентностей ОНП).
- Загальні програмні результати навчання: ПРН1–ПРН6, ПРН11 (відповідно до переліку програмних результатів навчання ОНП).

**Програмні результати навчання за дисципліною (вимоги до знань та вмінь):**

*Знати:*

Особливості властивостей в'язко-пружних тіл Максвелла, Фойгта та Кельвина в задачах повзучості та релаксації напружень.

Принцип суперпозиції Больцмана-Вольтерра в лінійній теорії в'язко-пружності.

Умови подібності ізохронних діаграм повзучості Работнова при побудові нелінійної моделі в'язко-пружності.

*Вміти:*

Визначати області лінійності та нелінійності в'язко-пружних властивостей матеріалів.

Використовувати згладжуючи кубічні сплайн-аппроксимації при визначенні параметрів ядер спадковості.

Застосовувати інтегральні перетворювання Лапласа та Лаплас-Карсона, а також метод Вольтерра для розв'язку задач теорії в'язкопружності.

### **3. ТЕМАТИЧНИЙ ПЛАН НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ**

*Змістовний модуль 1. Інтегральна форма визначальних рівнянь в теорії в'язкопружності*

**Тема 1. Особливості процесів повзучості та релаксації напружень в ізотропних лінійно- та нелінійно-в'язкопружних матеріалах**

Загальна характеристика в'язкопружних матеріалів, ефекти пам'яті, функції повзучості та швидкості повзучості, області лінійності та нелінійності в'язкопружних властивостей. Аналітичне представлення первісних експериментальних даних, функцій повзучості та ізохронних діаграм повзучості за допомогою згладжуючих кубічних сплайнів.

**Тема 2. Інтегральні часові оператори. Ядра спадковості та аналітичні форми представлення ядер**

Інтегральні рівняння Вольтерра другого роду типу згортки, інтегральний часовий оператор Рімана, інтегральний часовий оператор Стілт'єса, механічний та фізичний сенс ядер спадковості, основні вимоги до ядер спадковості. Аналітична інтерпретація ядер спадковості: степеневі функції, сума степеневих функцій, експоненційні функції, сума експонент, комбінації степеневих та експоненційних функцій, дробово-експоненційна функція, сплайн-апроксимації.

**Тема 3. Система базових експериментів. Методи визначення базових функцій та параметрів базових ядер спадковості**

Повздовжня та поперечна повзучість за умов одновісного розтягу, зсувна повзучість за умов чистого скручення. Сплайн-апроксимація базових експериментальних даних, дискретизація ядер спадковості, методика визначення параметрів априксимуючих функцій, особливості розподілу дискретних значень ядер в області сінгулярності, метод вагових функцій.

*Змістовний модуль 2. Одновимірна та тривимірна лінійна теорія в'язкопружності.*

**Тема 4. Тривимірна лінійна теорія в'язкопружності. Основні визначальні співвідношення**

Одновимірні визначальні рівняння повзучості та релаксації напружень спадкового типу, узагальнення одновимірних визначальних рівнянь в'язкопружності на складний напружений стан виходячи із гіпотези суперпозиції об'ємної та зсувної повзучості та виходячи із гіпотези пропорційності девіаторів, врахування впливу виду напруженого та деформованого станів, зведення тривимірних моделей в'язкопружності до одновимірних.

**Тема 5. Методи визначення функцій та параметрів ядер спадковості в**

## **тривимірній лінійній теорії в'язкопружності**

Функціональні залежності між ядрами спадковості за умов складного та одновимірного напружених станів, залежності між ядрами спадковості виходячи із суперпозиції об'ємної та зсувної повзучості, залежності між ядрами спадковості виходячи із гіпотези пропорційності девіаторів тензорів деформацій та напружень.

### *Змістовний модуль 3. Одновимірна та тривимірна нелінійна теорія в'язкопружності*

#### **Тема 6. Нелінійна одновимірна теорія в'язкопружності. Основні визначальні співвідношення**

Модифікований принцип суперпозиції, кратно-інтегральне представлення Вольтерра-Фреше, кубічна теорія в'язкопружності, умова подібності первісних кривих повзучості, умова подібності ізохронних діаграм повзучості, функції нелінійності в'язкопружних властивостей, зведення нелінійних моделей в'язкопружності до лінійної теорії Больцмана-Вольтерра.

#### **Тема 7. Методи визначення функцій та параметрів ядер спадковості в нелінійній одновимірній теорії в'язкопружності**

Визначення параметрів ядер спадковості за функцією повзучості, визначення функції нелінійності та параметрів функції, визначення параметрів ядер спадковості в нелінійній області виходячи із умови узгодження функцій повзучості в лінійній та нелінійній областях. Визначення параметрів ядер спадковості за результатами апроксимації умови подібності ізохронних діаграм повзучості.

#### **Тема 8. Нелінійна тривимірна теорія в'язкопружності. Основні визначальні співвідношення**

Кратно-інтегральне представлення Вольтерра-Фреше, гіпотеза пропорційності девіаторів тензорів деформацій та напружень, гіпотеза єдиної діаграми довготривалого деформування у координатах „інтенсивність деформацій  $\varepsilon_i$  – час  $t$ “ за умови – інтенсивність напружень  $\sigma_i = const$ , модифікована нелінійна модель в'язкопружності Работнова, функції нелінійності, врахування впливу виду напруженого стану, зведення нелінійних моделей в'язкопружності до лінійної моделі.

#### **Тема 9. Методи визначення функцій та параметрів ядер спадковості в нелінійній тривимірній теорії в'язкопружності**

Апроксимація функцій нелінійності згладжуючими кубічними сплайнами та визначення параметрів апроксимації, встановлення співвідношень між ядрами об'ємної повзучості, ядрами інтенсивності деформацій повзучості та ядрами повздовжньої та

поперечної повзучості за умов одновісного розтягу, а також ядрами повздовжньої та зсувної повзучості, дискретизація ядер об'ємної повзучості та інтенсивності деформацій повзучості згідно встановлених співвідношень, апроксимація дискретних значень ядер обраними аналітичними функціями та визначення параметрів ядер.

*Змістовний модуль 4. Крайові задачі в теорії в'язкопружності*

**Тема 10. Розв'язок задач повзучості та релаксації напружень в елементах конструкцій із нелінійно-в'язкопружних матеріалів**  
Постановка задачі теорії в'язкопружності, система розв'язкових рівнянь, основні методи розв'язку системи рівнянь теорії в'язкопружності, розв'язок задач повзучості та релаксації напружень в елементах конструкцій із нелінійно-в'язкопружних матеріалів. Експериментальна апробація результатів розрахунків, методи врахування статистичної природи в'язкопружних властивостей матеріалів, критерії узгодження результатів розрахунків із експериментальними даними.

#### 4. ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ (РОЗПОДІЛ ГОДИН)

№	Назва теми	Кількість годин		
		Лекції	Практичні заняття	Самост. робота
<b>Змістовний модуль 1. Інтегральна форма визначальних рівнянь в теорії в'язкопружності</b>				
1.	Особливості процесів повзучості та релаксації напружень в ізотропних лінійно- та нелінійно-в'язкопружних матеріалах	2	2	8
2.	Інтегральні часові оператори. Ядра спадковості та аналітичні форми представлення ядер	2	2	8
3.	Система базових експериментів. Методи визначення базових функцій та параметрів базових ядер спадковості	2	2	8
<b>Змістовний модуль 2. Одновимірна та тривимірна лінійна теорія в'язкопружності</b>				
4.	Тривимірна лінійна теорія в'язкопружності. Основні визначальні співвідношення	2	2	8
5.	Методи визначення функцій та параметрів ядер спадковості в тривимірній лінійній теорії в'язкопружності	2	2	8
<b>Змістовний модуль 3. Одновимірна та тривимірна нелінійна теорія в'язкопружності</b>				
6.	Нелінійні одновимірні теорії в'язкопружності. Основні визначальні співвідношення	2	2	8
7	Методи визначення функцій та параметрів ядер спадковості в нелінійній одновимірній теорії в'язкопружності	2	2	8
8	Нелінійна тривимірна теорія в'язкопружності. Основні визначальні співвідношення	2	2	8
9	Методи визначення функцій та параметрів ядер спадковості в нелінійній тривимірній теорії	2	2	8

	в'язкопружності			
<b>Змістовний модуль 4. Крайові задачі в теорії в'язкопружності</b>				
10	Розв'язок задач повзучості та релаксації напружень в елементах конструкцій із нелінійно-в'язкопружних матеріалів	2	2	8
	Всього годин за семестр	20	20	80

## **5 СТРУКТУРА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ**

**Тема 1. Особливості процесів повзучості та релаксації напружень в ізотропних лінійно- та нелінійно-в'язкопружних матеріалах.**

*Лекція 1.* Загальна характеристика в'язкопружних матеріалів, ефекти пам'яті, функції повзучості та швидкості повзучості, області лінійності та нелінійності в'язкопружних властивостей. Аналітичне представлення первісних експериментальних даних, функцій повзучості та ізохронних діаграм повзучості за допомогою згладжуючих кубічних сплайнів.

*Практичне заняття 1.* Математичне обґрунтування подібності первісних кривих повзучості та ізохронних діаграм повзучості.

*Завдання для самостійної роботи*

1. Вивчення матеріалу лекції
2. Опрацювання матеріалу, що винесено на самостійне вивчення:
  - Загальна характеристика в'язкопружних матеріалів з ефектом пам'яті та методи його інтерпретації.

**Література:** основна -1,3,4,5; додаткова – 1, 2, 4.

**Тема 2. Інтегральні часові оператори. Ядра спадковості та аналітичні форми представлення ядер.**

*Лекція 2.* Інтегральні рівняння Вольтерра другого роду типу згортки, інтегральний часовий оператор Рімана, інтегральний часовий оператор Стілт'єса, механічний та фізичний сенс ядер спадковості, основні вимоги до ядер спадковості. Аналітична інтерпретація ядер спадковості: степеневі функції, сума степеневих функцій, експоненційні функції, сума експонент, комбінації степеневих та експоненційних функцій, дробово-експоненційна функція, сплайн-апроксимації.

*Практичне заняття 2.* Порівняльний аналіз структур та властивостей ядер спадковості.

*Завдання для самостійної роботи*

1. Вивчення матеріалу лекції
2. Опрацювання матеріалу, що винесено на самостійне вивчення:
  - Аналітичні зв'язки між функціями повзучості та ядрами повзучості, між ядрами повзучості та ядрами релаксації.

**Література:** основна -2,3,4,5; додаткова – 1, 2, 4.

**Тема 3. Система базових експериментів. Методи визначення базових функцій та параметрів базових ядер спадковості**

*Лекція 3.* Повздовжня та поперечна повзучість за умов одновісного розтягу, зсувна повзучість за умов чистого скручення. Дискретизація ядер спадковості, методика визначення параметрів апроксимуючих функцій, особливості розподілу дискретних значень ядер в області сінгулярності, метод вагових функцій

*Практичне заняття 3.* Сплайн-апроксимація базових експериментальних даних.

*Завдання для самостійної роботи*

1. Вивчення матеріалу лекції
2. Опрацювання матеріалу, що винесено на самостійне вивчення:
  - Порівняльний аналіз структур ядер спадковості за умов одновісного розтягу та чистого кручення

**Література:** основна -2,3,4,6; додаткова – 1, 2, 5.

**Тема 4. Тривимірна лінійна теорія в'язкопружності. Основні визначальні співвідношення**

*Лекція 4.* Одновимірні визначальні рівняння повзучості та релаксації напружень спадкового типу, узагальнення одновимірних визначальних рівнянь в'язкопружності на складний напружений стан виходячи із гіпотези суперпозиції об'ємної та зсувної повзучості та виходячи із гіпотези пропорційності девіаторів.

*Практичне заняття 4.* Обґрунтування основних гіпотез та спрощуючи припущення при формулюванні форм зв'язку між компонентами тензорів деформацій та напружень.

*Завдання для самостійної роботи*

1. Вивчення матеріалу лекції
2. Опрацювання матеріалу, що винесено на самостійне вивчення:
  - Методи узагальнення одновимірних визначальних рівнянь лінійної теорії в'язкопружності на складний напружений стан.

**Література:** основна -3,4,5,7; додаткова – 1, 2, 4.

**Тема 5. Методи визначення функцій та параметрів ядер спадковості в тривимірній лінійній теорії в'язкопружності**

*Лекція 5.* Функціональні залежності між ядрами спадковості за умов складного та одновимірного напружених станів, залежності між ядрами спадковості виходячи із суперпозиції об'ємної та зсувної повзучості, залежності між ядрами спадковості виходячи із гіпотези пропорційності девіаторів тензорів деформацій та напружень.

*Практичне заняття 5.* Дискретизація ядер повзучості за умов одновимірного та складного напруженого станів. Апроксимація дискретних значень ядер повзучості.

*Завдання для самостійної роботи*

1. Вивчення матеріалу лекції
2. Опрацювання матеріалу, що винесено на самостійне вивчення:
  - Вибір та обґрунтування системи базових експериментів при визначенні параметрів ядер об'ємної та зсувної повзучості.

**Література:** основна -2,3,4,6; додаткова –2, 6.

### **Тема 6. Нелінійна одновимірна теорія в'язкопружності. Основні визначальні співвідношення**

*Лекція 6.* Модифікований принцип суперпозиції, кратно-інтегральне представлення Вольтерра-Фреше, кубічна теорія в'язкопружності, умова подібності первісних кривих повзучості, умова подібності ізохронних діаграм повзучості, функції нелінійності в'язкопружних властивостей, зведення нелінійних моделей в'язкопружності до лінійної теорії Больцмана-Вольтерра.

*Практичне заняття 6.* Обґрунтування гіпотези подібності первісних кривих повзучості та гіпотези подібності ізохронних діаграм повзучості.

*Завдання для самостійної роботи*

1. Вивчення матеріалу лекції
2. Опрацювання матеріалу, що винесено на самостійне вивчення:
  - Порівняльний аналіз гіпотез подібності первісних кривих повзучості та ізохронних діаграм повзучості.
  - Обґрунтування найбільш ефективних напрямків модифікації існуючих гіпотез.

**Література:** основна -2,3,4,5,7; додаткова –2, 4.

### **Тема 7. Методи визначення функцій та параметрів ядер спадковості в нелінійних одновимірних моделях в'язкопружності**

*Лекція 7.* Визначення параметрів ядер спадковості за функцією повзучості, визначення функції нелінійності та параметрів функції, визначення параметрів ядер спадковості в нелінійній області виходячи із умови узгодження функцій повзучості в лінійній та нелінійній областях. Визначення параметрів ядер спадковості за результатами апроксимації умови подібності ізохронних діаграм повзучості.

*Практичне навчання 7.* Методика дискретизації ядер спадковості в лінійній та нелінійній областях в'язкопружності. Апроксимація дискретних значень

ядер спадковості із врахуванням вагових функцій.

#### *Завдання для самостійної роботи*

1. Вивчення матеріалу лекції
2. Опрацювання матеріалу, що винесено на самостійне вивчення:
  - Визначення області лінійності та не лінійності вязкопружних властивостей за рівнем напружень.
  - Модифікація методу визначення параметрів ядер спадковості в гіпотезі подібності ізохронних діаграм повзучості.

**Література:** основна -2,3,6,7; додаткова –2, 4,7.

### **Тема 8. Нелінійна тривимірна теорія в'язкопружності. Основні визначальні співвідношення**

*Лекція 8.* Кратно-інтегральне представлення Вольтерра-Фреше, гіпотеза пропорційності девіаторів тензорів деформацій та напружень, гіпотеза єдиної діаграми довготривалого деформування у координатах „інтенсивність деформацій  $\varepsilon_i$  – час  $t$ “ за умови – інтенсивність напружень  $\sigma_i = const$ , функції нелінійності, врахування впливу виду напруженого стану, зведення нелінійних моделей в'язкопружності до лінійної моделі.

*Практичне заняття 8.* Встановлення фізичного змісту ядер об'ємної повзучості та релаксації напружень, ядер інтенсивності деформацій повзучості та інтенсивності релаксації напружень.

#### *Завдання для самостійної роботи*

1. Вивчення матеріалу лекції
2. Опрацювання матеріалу, що винесено на самостійне вивчення:
  - Обґрунтування методів та гіпотез узагальнення одновимірних визначальних рівнянь вязкопружності на складний напружений стан.

**Література:** основна -3,4,5,7; додаткова –2, 4.

### **Тема 9. Методи визначення функцій та параметрів ядер спадковості в нелінійній тривимірній моделі в'язкопружності**

*Лекція 9.* Апроксимація функцій нелінійності згладжуючими кубічними сплайнами та визначення параметрів апроксимації, встановлення співвідношень між ядрами об'ємної повзучості, ядрами інтенсивності деформацій повзучості та ядрами повздовжньої та поперечної повзучості за умов одновісного розтягу, а також ядрами повздовжньої та зсуви повзучості, дискретизація ядер об'ємної повзучості та інтенсивності деформацій повзучості згідно встановлених співвідношень, апроксимація дискретних значень ядер обрамами аналітичними функціями та визначення

параметрів ядер.

*Практичне заняття 9.* Завдання нелінійності вязкопружних властивостей нелінійністю діаграми миттєвого деформування. Дискретизація ядер зсувної та об'ємної повзучості. Методика апроксимації дискретних значень ядер повзучості.

*Завдання для самостійної роботи*

1. Вивчення матеріалу лекції
2. Опрацювання матеріалу, що винесено на самостійне вивчення:
  - Вибір та обґрунтування залежності між тензорами деформацій та напружень у формі пропорційності девіаторів.
  - Формульовання залежностей між ядрами спадковості за умов складного та одновимірного напружених станів.

**Література:** основна -2,3,6,7; додаткова –2, 4,8.

**Тема 10. Розв'язок задач повзучості та релаксації напружень в елементах конструкцій із нелінійно-в'язкопружних матеріалів**

*Лекція 10.* Постановка задачі теорії в'язкопружності, система розв'язкових рівнянь, основні методи розв'язку системи рівнянь теорії в'язкопружності, розв'язок задач повзучості та релаксації напружень в елементах конструкцій із нелінійно-в'язкопружних матеріалів.

*Практичне заняття 10.* Експериментальна апробація результатів розрахунків, методи врахування статистичної природи в'язкопружних властивостей матеріалів, критерії узгодження результатів розрахунків із експериментальними даними.

*Завдання для самостійної роботи*

1. Вивчення матеріалу лекції
2. Опрацювання матеріалу, що винесено на самостійне вивчення:
  - Чисельно-аналітичні методи розв'язку задач повзучості та релаксації напружень в елементах конструкцій із в'язкопружних матеріалів.

**Література:** основна -1,3,4,7; додаткова –1, 3.

## **Самостійна робота аспіранта, її зміст та обсяг**

<b>№ з/п</b>	<b>Зміст самостійної роботи аспіранта</b>	<b>Обсяг СР (годин)</b>
1	Опрацювання лекційного матеріалу	20
2	Підготовка до практичних занять	20
3	Опрацювання матеріалу, який винесено на самостійне вивчення	40
	<b>Всього</b>	<b>80</b>

## **8. СИСТЕМА ОЦІНЮВАННЯ ЗДОБУВАЧІВ ОСВІТНЬО-НАУКОВОГО СТУПЕНЯ**

### **6.1 Політика дотримання академічної добробачності**

Очікується, що аспіранти знайомі з основними принципами академічної добробачності, самостійно виконують усі навчальні завдання, коректно посилаються на використані джерела інформації при написанні власного наукового або навчального дослідження, тощо. Неприпустимим є списування при написанні контрольних робіт та складанні заліку (у тому числі з використанням мобільних пристройів). У разі виявлення ознак академічної недобробачності в письмовій роботі аспіранта вона не зараховується викладачем.

### **6.2 Політика щодо відвідування занять**

Відвідування занять є обов'язковим компонентом навчального процесу. За об'єктивних причин (наприклад, міжнародне стажування, епідеміологічні обмеження тощо) навчання може відбуватись в он-лайн формі за погодженням із керівником курсу та керівником аспірантури.

### **6.4 Система рейтингових балів**

Рейтинг аспіранта з даної дисципліни складається з балів, що він отримує за:

- 1.Експрес-контроль – 20 балів.
- 2.Активну роботу на практичних заняттях - 20 балів.
- 3.Модульні контрольні роботи -20 балів ( 2x10=20)
- 3.Залік - 40 балів.

Заохочується представлення доповіді на наукових конференціях, семінарах, подання статті в журнал за тематикою курсу і додатково

оцінюється у 10 балів.

Експрес-контроль проводиться з метою перевірки якості роботи аспіранта в аудиторії і самостійної роботи в позааудиторний час шляхом усного опитування чи самостійних письмових робіт тривалістю 10 – 30 хвилин, або індивідуальних домашніх завдань протягом семестру. Проводиться декілька раз (2 - 4) з максимальною сумарною оцінкою у 20 балів.

Залік складається аспірантом в аудиторний час і на нього виносяться питання та завдання, кожне з яких оцінюється за бальною системою.

## 6.5 Розрахункова шкала рейтингу

Максимальна сумарна кількість балів протягом семестру складає:  
 $20+20+20+40=100$  (балів).

Рейтинг RD аспіранта складається з рейтингу, одержаного протягом семестру з урахуванням додаткових балів. Аспіранти, які набрали протягом семестру менше 30 балів, зобов'язані підвищити свій рейтинг, інакше вони не допускаються до заліку з цієї дисципліни і мають академічну заборгованість. Для підвищення рейтингу вони отримують можливість написати додаткову контрольну роботу та виконати індивідуальні домашні завдання.

## Шкала оцінювання: національна та ECTS

Сума балів за всі види навчальної діяльності	Оцінка ECTS	Оцінка за національною шкалою	
		для екзамену	для заліку
90 – 100	A	відмінно	
82-89	B		
74-81	C	добре	зараховано
64-73	D		
60-63	E	задовільно	
35-59	FX	незадовільно з можливістю повторного складання	не зараховано з можливістю повторного складання
0-34	F	незадовільно з обов'язковим повторним вивченням дисципліни	не зараховано з обов'язковим повторним вивченням дисципліни

«Відмінно» А (**90-100 балів**) – відмінний рівень знань (умінь) в межах обов'язкового матеріалу з можливими незначними недоліками

«Добре» - В (**82-89 балів**) – дуже добре – достатньо високий рівень знань (умінь) в межах обов'язкового матеріалу без суттєвих (грубих)

помилок.

«Добре» - С (**74-81 балів**) – в цілому добрий рівень знань (умінь) з незначною кількістю помилок.

«Задовільно» - D (**64-73 балів**) – виставляється аспіранту, який має знання тільки основного матеріалу, але не засвоїв його деталей, допускає неточності, неправильне тлумачення окремих елементів завдання та відчуває труднощі при виконанні практичних завдань.

«Задовільно» - Е (**60-63 балів**) – достатньо – мінімально можливий допустимий рівень знань (умінь).

«Незадовільно» - FX (**35-59 балів**) - виставляється аспіранту, який дає необґрунтовані відповіді на запитання, допускає суттєві помилки у використанні понятійного апарату. Не простежується логічність та послідовність думки. Формулювання хаотичні та не усвідомлені.

«Незадовільно» - F (**1-34 балів**) - виставляється аспіранту, який не засвоїв зміст дисципліни, вміння та навички не набуті.

## 7. ОРІЄНТОВНИЙ ПЕРЕЛІК ЗАЛІКОВИХ ПИТАНЬ

1. *Основні визначальні рівняння між напруженнями, деформаціями та часом в теорії в'язко пружності.*
  - 1.1. Вступ до теорії в'язкопружності. Характерна різниця між пружними, рідкими та в'язкопружними середовищами.
  - 1.2. Інтегральна форма визначальних рівнянь в теорії в'язкопружності. Тензорнозначні функціонали. Теорема представлення Picca. Згортка (інтеграл) Рімана. Згортка (інтеграл) Стілт'єса.
  - 1.3. Наслідки гіпотези щодо затухаючої пам'яті. Різниця між в'язкопружними тілами та рідинами.
  - 1.4. Диференційно-операторна форма визначальних рівнянь в теорії в'язкопружності. Залежності між девіаторними компонентами тензорів деформацій та напружень.
  - 1.5. Механічні моделі в'язкопружних тіл. Моделі Максвелла, Фойгта та Кельвіна. Різниця між в'язкопружними тілами та рідинами.
2. *Визначення механічних характеристик в'язкопружних середовищ. Основні процедури.*
  - 2.1. Вступ. Основні механічні характеристики лінійних та нелінійних в'язкопружних середовищ.
  - 2.2. Процедури визначення характеристик повзучості та релаксації напружень. Ядра повзучості та релаксації. Метод параметрів.
  - 2.3. Процедури, що ґрунтуються на стаціональному стані гармонійних коливань. Комплексні модулі.
  - 2.4. Процедури, що ґрунтуються на розповсюджені хвиль. Комплексні модулі.
  - 2.5. Методи визначення функцій повзучості та релаксації напружень в кратно-інтегральному представленні Вольтерра-Фреше.

2.6. Методи врахування ефектів, що залежать від температури. Термореологічно прості матеріали. Температурно-часова еквівалентність.

### **3. *Методи розв'язку задач лінійної та нелінійної теорії в'язкопружності.***

- 3.1. Постановка задач теорії в'язкопружності. Повна система розв'язкових рівнянь. Спрощуючі гіпотези.
- 3.2. Пряний (символічний) метод Вольтерра. Застосування перетворення Лапласа. Область застосування методу.
- 3.3. Метод інтегральних перетворень. Перетворення Лапласа та Лапласа-Карсона. Перетворення Фур'є.
- 3.4. Термодинамічні обмеження в нелінійній теорії в'язкопружності.
- 3.5. Приклади розв'язку задач теорії в'язкопружності. Повзучість тонкостінних та товстостінних трубчастих елементів за умов складного напруженого стану. Деформування тонкої ізотропної плити на в'язкопружному ґрунті. Стійкість в'язкопружних циліндричних оболонок.

## **8. СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНИХ ДЖЕРЕЛ**

### **8.1 Основні рекомендовані джерела**

- [1] Ильюшин А.А., Победря Б.Е. Основы математической теории термовязкоупругости.- Москва : Наука.- 1970.- 240 с.
- [2] Колтунов М.А. Ползучесть и релаксация.- Москва : Высшая школа, 1976.- 277 с.
- [3] Кристенсен Р.М. Введение в теорию вязкоупругости // Пер. с англ. под ред. Г.С.Шапиро.- Москва : Мир, 1974.- 340 с.
- [4] Работнов Ю.Н. Ползучесть элементов конструкций.- Москва : Наука, 1966.- 752 с.
- [5] Работнов Ю.Н. Элементы наследственной механики твердых тел.- Москва : Наука, 1977.- 384 с.
- [6] Ferry J.D. Viscoelastic properties of polymers. 2<sup>nd</sup> ed. – New-York: John Willey and Sons, 1981. – 633 p.
- [7] Findley W.N., Lai J.S., and Onaran K. Creep and relaxation of nonlinear viscoelastic materials.- Amsterdam : North-Holland Publishing Company, 1976.- 367 p.

### **8.2 Додаткові рекомендовані джерела**

- [1] Арутюнян Н.Х., Колмановский В.Б. Теория ползучести неоднородных тел.- Москва : Наука, 1983.- 336 с.
- [2] Бугаков И.И. Ползучесть полимерных материалов. Теория и приложения. – Москва : Наука, 1973.- 288 с.
- [3] Карнаухов В.Г. Связанные задачи термовязкоупругости.- Киев: Наук. думка, 1982.- 260 с.

- [4] Pipkin A.C. Lectures on viscoelasticity theory.- New York: Springer Verlag, 1986.- 188 p.
- [5] Голуб В.П., Фернати П.В., Ляшенко Я.Г. К задаче определения параметров дробно-экспоненциальных ядер наследственности линейно-вязкоупругих материалов// Прикл. механика. – 2008.- Том 44, №9. – сс.12-25.
- [6] Голуб В.П., Маслов Б.П., Кобзарь Ю.М. К определению параметров ядер наследственности изотропных линейно-вязкоупругих материалов при сложном напряженном состоянии// Теор.и прикл. механика. – 2013.- №7(53),–сс.53-64.
- [7] Голуб В.П., Кобзарь Ю.М., Рагулина В.С. Метод определения параметров ядер наследственности в нелинейной теории вязкоупругости// Прикл. механика. – 2011.- Том 47, №3. - сс.75-88.
- [8] Голуб В.П., Кобзарь Ю.М., Фернати П.В. К определению параметров ядер наследственности изотропных нелинейно-вязкоупругих материалов при сложном напряженном состоянии // Прикл. механика. – 2019. – Том 55, №6, С. 25-45.

### **8.3 Інші інформаційні джерела (ресурси)**

Оскільки цей курс по вибору безпосередньо пов'язується із темою дисертаційних досліджень, список додаткових інформаційних джерел, який складається із наукових статей, опублікованих, як правило, за останні 2-3 роки, складається індивідуально для кожного аспіранта.