

НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ  
ІНСТИТУТ МЕХАНІКИ ІМ. С. П. ТИМОШЕНКА

ЗАТВЕРДЖУЮ

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



Володимир НАЗАРЕНКО

*Назаренко* 2022 року

**РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ**

**Термомеханіка зв'язаних полів в непружних матеріалах та елементах  
конструкцій**

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

галузь знань	<b>11 Математика та статистика</b>
спеціальність	<b>113 «Прикладна математика»</b>
вид дисципліни	<b>вибіркова</b>

КИЇВ – 2022

**Розробники:**

Завідувач відділу термопружності

д-р фіз.-мат. наук, проф. \_\_\_\_\_ Василь КАРНАУХОВ

**Робочу програму узгоджено науково-методичною радою**

Протокол від \_\_\_\_\_ 20\_\_ р. № \_\_\_\_\_

Голова науково-методичної ради \_\_\_\_\_

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

Протокол від \_\_\_\_\_ 20\_\_ року № \_\_\_\_\_

Голова Вченої ради \_\_\_\_\_ Володимир НАЗАРЕНКО

**Робочу програму узгоджено з гарантом освітньо-наукової програми (керівником програми) 113 «Прикладна математика» \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.**

Гарант освітньо-наукової програми \_\_\_\_\_ Володимир НАЗАРЕНКО

**Пролонговано Вченою радою Інституту механіки ім. С.П.Тимошенка:**

Навчальні роки пролонгації	Голова Вченої ради Інституту механіки НАНУ	Підпис	№ протоколу	Дата протоколу
20___/20___				
20___/20___				
20___/20___				

20__/20__				
-----------	--	--	--	--

©Карнаухов В.Г., 2022

## 1. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ

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	2
Кількість кредитів	4
Обсяг академічних годин, в тому числі	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 «**Термомеханіка зв'язаних полів в непружних матеріалах та елементах конструкцій**» є нормативним документом, який розроблено на основі освітньо-наукової програми, далі ОНП, (затверджена Вченою радою Інституту механіки ім. С.П.Тимошенка НАН України., протокол № 5 від 26 грудня 2017 року) підготовки здобувачів третього освітньо-наукового рівня вищої освіти відповідно до навчального плану спеціальності 113 «Прикладна математика».

Навчальна дисципліна «Термомеханіка зв'язаних полів в непружних матеріалах та елементах конструкцій» є складовою циклу професійної підготовки фахівців третього освітньо-наукового рівня “доктор філософії”

**Передумова вивчення.** Програма курсу орієнтована на аспірантів, які вже знайомі з дисциплінами професійної та практичної підготовки фахівців-механіків, зокрема з курсом механіки суцільних середовищ, загальним курсом теорії диференціальних рівнянь, математичної фізики та обов'язкових курсів освітньо-наукової програми ДВІ 1 та ДВІ 2, які вивчаються на першому курсі аспірантури. Вони повинні володіти методами обчислювальної математики та методами математичного моделювання систем та процесів.

**Метою навчальної дисципліни** «Термомеханіка зв'язаних полів в непружних матеріалах та елементах конструкцій» є набуття знань та вмінь розв'язання комплексних проблем в галузі механіки деформівного твердого тіла шляхом здобуття ними компетентностей, необхідних для виконання

*самостійних та оригінальних наукових досліджень*, результати яких мають наукову новизну, теоретичне та практичне значення.

**Головними завданнями** вивчення навчальної дисципліни «Термомеханіка зв'язаних полів в непружних матеріалах та елементах конструкцій» є формування знань, практичних навичок та компетентностей, потрібних 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):**

В результаті вивчення навчальної дисципліни аспірант повинен *знати*:

- основні концепції, наукові школи та праці провідних вітчизняних і зарубіжних науковців у сфері термомеханіки зв'язаних полів непружних середовищ;
- закони та рівняння, які описують поведінку термов'язкопружних тіл з урахуванням зв'язаності фізичних полів;
- варіаційні постановки задач термов'язкопружності;
- аналітичні і чисельні методи, прикладні програмні комплекси, які застосовуються для дослідження термомеханічної поведінки непружних елементів конструкцій;

*вміти*:

- робити асимптотичні оцінки термов'язкопружного стану елементів конструкцій;
- розв'язувати задачі термов'язкопружності методом дискретної ортогоналізації;
- на основі варіаційних постановок чисельно розв'язувати задачі термомеханіки з урахуванням зв'язаності фізичних полів методом скінченних елементів.

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

*Змістовний модуль 1. Основи термомеханіки зв'язаних полів*

**Тема 1. Термомеханічна теорія в'язкопружних матеріалів.** Загальна характеристика основних концепцій, наукових шкіл та праць у сфері термомеханіки непружних середовищ. Основні кінематичні та динамічні співвідношення. Перший та другий закони термодинаміки. Основні теорії визначальних рівнянь в'язкопружної поведінки матеріалів. Скінченна лінійна термомеханічна теорія в'язкопружності для нестисливого матеріалу. Головна

термомеханічна теорія в'язкопружності для узагальненого термореологічно простого матеріалу.

**Тема 2. Варіаційні принципи в механіці в'язкопружних матеріалів.** Основні варіаційні принципи. Варіаційна постановка задачі термомеханіки в'язкопружних матеріалів. Визначальні рівняння нелінійних в'язкопружних матеріалів у моногармонічному наближенні. Постановка зв'язаної задачі термов'язкопружності в моногармонічному наближенні. Представлення амплітудних рівнянь через потенціали.

**Тема 3. Термомеханіка тонкостінних елементів.** Термомеханічна теорія тонкостінних елементів з термореологічно простого матеріалу. Термомеханічна теорія тонкостінних елементів з нелінійного в'язкопружного матеріалу. Уточнена та класична теорія в'язкопружних оболонок з врахуванням дисипативного розігріву. Методи лінеаризації для розв'язування задач про коливання і дисипативний розігрів в'язкопружних тонкостінних елементів конструкцій.

*Змістовний модуль 2. Дослідження термомеханічної поведінки непружних елементів конструкцій з використанням аналітичних та чисельних методів*

**Тема 4. Аналітичні та чисельні методи розв'язування зв'язаних задач термомеханіки в'язкопружних елементів конструкцій.** Метод Бубнова-Гальборкіна, асимптотичні методи та метод гармонічного балансу. Чисельний метод дискретної ортогоналізації. Метод скінченних елементів та його реалізації для розв'язування осесиметричних, плоских, просторових задач та задач теорії тонкостінних елементів.

**Тема 5. Термомеханічна поведінка тонкостінних елементів в динамічній та квазістатичній постановках.** Коливання нелінійної системи з одним ступенем вільності. Поздовжні термомеханічні коливання стержня. Вплив дисипативного розігріву на параметричні коливання в'язкопружного стержня. Термомеханічна поведінка круглої пластини при поперечних коливаннях. Вимушені коливання і дисипативний розігрів шарнірно обпертої прямокутної пластини. Термомеханічна квазістатична поведінка в'язкопружних оболонок при гармонічному навантаженні. Вплив дисипативного розігріву на механічну стійкість тонкостінних елементів.

**Тема 6. Просторові задачі про коливання і дисипативний розігрів непружних елементів конструкцій.** Вимушені коливання і дисипативний розігрів призматичного віброізолятора. Вимушені коливання і дисипативний розігрів суцільного циліндричного віброізолятора. Вимушені коливання і дисипативний розігрів циліндричної панелі. Вимушені коливання і дисипативний розігрів в'язкопружної призми з циліндричним включенням.

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

№	Назва теми	Кількість годин		
		Лекції	Практичні заняття	Самост. робота
<i>Змістовний модуль 1. Основи термомеханіки зв'язаних полів</i>				
1	Термомеханічна теорія в'язкопружних матеріалів	4	4	16
2	Варіаційні принципи в механіці в'язкопружних матеріалів	2	2	8
3	Термомеханіка тонкостінних елементів	4	4	16
<i>Змістовний модуль 2. Дослідження термомеханічної поведінки непружних елементів конструкцій з використанням аналітичних та чисельних методів</i>				
4	Аналітичні та чисельні методи розв'язування зв'язаних задач термомеханіки в'язкопружних елементів конструкцій	4	4	16
5	Термомеханічна поведінка тонкостінних елементів в динамічній та квазістатичній постановках	4	4	16
6	Просторові задачі про коливання і дисипативний розігрів непружних елементів конструкцій	2	2	8
Всього годин за семестр		20	20	80

#### 5. СТРУКТУРА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

##### *Змістовний модуль 1. Основи термомеханіки зв'язаних полів*

##### **Тема 1. Термомеханічна теорія в'язкопружних матеріалів**

*Лекція 1.* Основні кінематичні та динамічні співвідношення. Перший та другий закони термодинаміки. Загальна теорія визначальних рівнянь для простих матеріалів з затухаючою пам'яттю. Загальна теорія визначальних рівнянь для матеріалів з внутрішніми змінними. Загальна теорія визначальних рівнянь інтегро-диференціального типу.

*Практичне заняття 1.* Наближені термомеханічні визначальні співвідношення для в'язкопружних середовищ з внутрішніми змінними.

### *Завдання для самостійної роботи*

1. Вивчення матеріалу лекції.
2. Опрацювання матеріалу, який винесено на самостійне вивчення:
  - Загальна характеристика основних наукових шкіл, що вивчають термомеханіку зв'язаних полів в непружних матеріалах та елементах конструкцій.
  - Наближена термомеханічна теорія в'язкопружних середовищ типу Кельвіна-Фойгта.

*Лекція 2.* Скінченна лінійна термомеханічна теорія в'язкопружності для нестисливого матеріалу. Головна термомеханічна теорія в'язкопружності для узагальненого терморологічно простого матеріалу.

*Практичне заняття 2.* Співвідношення повної системи рівнянь термов'язкопружності в циліндричних та сферичних координатах, масштабуючі множники Ламе для довільної криволінійної системи координат.

### *Завдання для самостійної роботи*

1. Вивчення матеріалу лекції.
2. Опрацювання матеріалу, який винесено на самостійне вивчення:
  - Спрощені моделі термомеханічної головної теорії для ізотропного матеріалу.

**Література:** основна – 1, 3, 5, 8; додаткова – 9, 12, 14, 16.

## **Тема 2. Варіаційні принципи в механіці в'язкопружних матеріалів**

*Лекція 1.* Варіаційна постановка задачі термомеханіки в'язкопружних матеріалів. Визначальні рівняння нелінійних в'язкопружних матеріалів у моногармонічному наближенні. Постановка зв'язаної задачі термов'язкопружності в моногармонічному наближенні. Представлення амплітудних рівнянь через потенціали.

*Практичне заняття 1.* Амплітудні рівняння для трансверсально-ізотропних в'язкопружних матеріалів.

### *Завдання для самостійної роботи*

1. Вивчення матеріалу лекції.
2. Опрацювання матеріалу, що винесений на самостійне вивчення:
  - Виведення комплексних характеристик в'язкопружного матеріалу з використанням моделі пружнопластичності з лінійним зміцненням.

**Література:** основна – 1, 3, 5, 8; додаткова – 9, 12, 14, 15, 17.



### **Тема 3. Термомеханіка тонкостінних елементів**

*Лекція 1.* Термомеханічна теорія тонкостінних елементів з термореологічно простого матеріалу. Термомеханічна теорія тонкостінних елементів з нелінійного в'язкопружного матеріалу.

*Практичне заняття 1.* Згинні коливання шарнірно закріпленої в'язкопружної прямокутної пластини.

*Завдання для самостійної роботи*

1. Вивчення матеріалу лекції.
2. Опрацювання матеріалу, який винесено на самостійне вивчення:
  - Термомеханічна теорія гнучких тонкостінних елементів з лінійних в'язкопружних матеріалів

*Лекція 2.* Уточнена та класична теорія в'язкопружних оболонок з врахуванням дисипативного розігріву. Методи лінеаризації для розв'язування задач про коливання і дисипативний розігрів в'язкопружних тонкостінних елементів конструкцій.

*Практичне заняття 2.* Термов'язкопружний напружено-деформівний стан циліндричної оболонки при неосесиметричному навантаженні.

*Завдання для самостійної роботи*

1. Вивчення матеріалу лекції.
2. Опрацювання матеріалу, який винесено на самостійне вивчення:
  - Лінеаризована постановка задачі про вимушені поперечні коливання круглої пластини.

**Література:** основна – 2, 3, 6; додаткова – 12, 13, 15.

*Змістовний модуль 2. Дослідження термомеханічної поведінки непружних елементів конструкцій з використанням аналітичних та чисельних методів*

### **Тема 4. Аналітичні та чисельні методи розв'язування зв'язаних задач термомеханіки в'язкопружних елементів конструкцій**

*Лекція 1.* Метод Бубнова-Гальоркіна, асимптотичні методи та метод гармонічного балансу. Чисельний метод дискретної ортогоналізації.

*Практичне заняття 1.* Визначення термомеханічного напружено-деформованого стану порожнистого товстостінного циліндра методом Бубнова-Гальоркіна.

*Завдання для самостійної роботи*

1. Вивчення матеріалу лекції.
2. Опрацювання матеріалу, який винесено на самостійне вивчення:
  - Використання явних та неявних різницевих схем інтегрування диференціальних рівнянь

*Лекція 2.* Метод скінченних елементів та його реалізації для розв'язування осесиметричних, плоских, просторових задач та задач теорії тонкостінних елементів.

*Практичне заняття 2.* Побудова матриці жорсткості для осесиметричного плоского та просторового термов'язкопружного скінченного елемента.

*Завдання для самостійної роботи*

1. Вивчення матеріалу лекції.
2. Опрацювання матеріалу, який винесено на самостійне вивчення:
  - Види скінченних елементів. Оболонкові, стержневі та просторові скінченні елементи. Особливості їх використання в прикладних системах ANSYS та COMSOL.

**Література:** основна – 1, 3, 5, 6; додаткова – 10, 11, 15.

## **Тема 5. Термомеханічна поведінка тонкостінних елементів в динамічній та квазістатичній постановках**

*Лекція 1.* Коливання нелінійної системи з одним ступенем вільності. Поздовжні термомеханічні коливання стержня. Вплив дисипативного розігріву на параметричні коливання в'язкопружного стержня.

*Практичне заняття 1.* Дослідження поперечних коливань термов'язкопружної круглої пластини з використанням COMSOL.

*Завдання для самостійної роботи*

1. Вивчення матеріалу лекції.
2. Опрацювання матеріалу, який винесено на самостійне вивчення:
  - Вимушені коливання і дисипативний розігрів шарнірно обпертої прямокутної пластини.

*Лекція 2.* Термомеханічна квазістатична поведінка в'язкопружних оболонок при гармонічному навантаженні. Вплив дисипативного розігріву на механічну стійкість тонкостінних елементів.

*Практичне заняття 2.* Дослідження радіальних коливань та дисипативного розігріву термов'язкопружної циліндричної панелі в програмному комплексі COMSOL.

### *Завдання для самостійної роботи*

1. Вивчення матеріалу лекції.
2. Опрацювання матеріалу, який винесено на самостійне вивчення:
  - Термомеханічна поведінка суцільного циліндричного віброізолятора при гармонічному розтягуванні - стиску.

**Література:** основна – 2, 3, 4, 5, 7; додаткова – 14, 15, 17.

### **Тема 6. Просторові задачі про коливання і дисипативний розігрів непружних елементів конструкцій.**

*Лекція 1.* Вимушені коливання і дисипативний розігрів призматичного віброізолятора. Вимушені коливання і дисипативний розігрів суцільного циліндричного віброізолятора. Вимушені коливання і дисипативний розігрів циліндричної панелі. Вимушені коливання і дисипативний розігрів в'язкопружної призми з циліндричним включенням.

*Практичне заняття 1.* Визначення власних частот порожнистого скінченного в'язкопружного циліндра в осесиметричній постановці в програмномних комплексах COMSOL та ANSYS.

### *Завдання для самостійної роботи*

1. Вивчення матеріалу лекції.
2. Опрацювання матеріалу, який винесено на самостійне вивчення:
  - Дослідження впливу попереднього деформування на коливання та дисипативний розігрів циліндра скінченної довжини.

**Література:** основна – 2, 3, 4, 5, 7; додаткова – 14, 16, 17.

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

№ з/п	Зміст самостійної роботи аспіранта	Обсяг СР (годин)
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>

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

### **6.1 Політика дотримання академічної доброчесності**

Очікується, що аспіранти знайомі з основними принципами академічної доброчесності, 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 пристроїв). У разі виявлення ознак академічної недоброчесності 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.

### **6.3 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	<b>A</b>	відмінно	зараховано
82-89	<b>B</b>	добре	
74-81	<b>C</b>		
64-73	<b>D</b>	задовільно	
60-63	<b>E</b>		
35-59	<b>FX</b>	незадовільно з можливістю повторного складання	не зараховано з можливістю повторного складання
0-34	<b>F</b>	незадовільно з обов'язковим повторним вивченням дисципліни	не зараховано з обов'язковим повторним вивченням дисципліни

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

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

**«Добре» - C (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» - E (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 ПИТАНЬ ДО ЗАЛКУ**

1. Загальна теорія визначальних рівнянь для простих матеріалів з затухаючою пам'яттю.
2. Загальна теорія визначальних рівнянь для матеріалів з внутрішніми змінними. Загальна теорія визначальних рівнянь інтегро-диференціального типу.
3. Термомеханічна теорія визначальних рівнянь для термореологічно простого матеріалу.
4. Термомеханічна теорія визначальних рівнянь Гріна-Рівліна.
5. Скінченна лінійна термомеханічна теорія в'язкопружності.
6. Скінченна лінійна термомеханічна теорія в'язкопружності для нестисливого матеріалу.
7. Головна термомеханічна теорія в'язкопружності для узагальненого термореологічно простого матеріалу.
8. Визначальні рівняння нелінійних в'язкопружних матеріалів у моногармонічному наближенні.
9. Постановка зв'язаної задачі термов'язкопружності в моногармонічному наближенні.
10. Виведення комплексних характеристик з використанням моделі пружнопластичності з лінійним зміцненням.
11. Представлення амплітудних рівнянь через потенціали.
12. Термомеханічна теорія тонкостінних елементів з термореологічно простого матеріалу.
13. Термомеханічна теорія тонкостінних елементів з нелінійного в'язкопружного матеріалу.
14. Уточнена та класична теорії в'язкопружних оболонок з врахуванням дисипативного розігріву.
15. Метод Бубнова-Гальоркіна.
16. Асимптотичні методи та метод гармонічного балансу.
17. Чисельний метод дискретної ортогоналізації.
18. Метод скінченних елементів для тонкостінних елементів.
19. Метод скінченних елементів для тіл обертання.
20. Метод скінченних елементів у просторових задачах термов'язкопружності.

21. Методи лінеаризації для розв'язування задач про коливання і дисипативний розігрів в'язкопружних елементів конструкцій.
22. Коливання нелінійної системи з одним ступенем вільності.
23. Термомеханічна поведінка стержня при вимушених коливаннях.
24. Термомеханічна поведінка круглої пластини при вимушених коливаннях.
25. Теплова нестійкість віброізолятора.

## **8. СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНИХ ДЖЕРЕЛ**

### **8.1. Основні**

1. Карнаухов В.Г. Связанные задачи термовязкоупругости.– Киев: Наук. думка. – 1982. – 260с.
2. Карнаухов В.Г., Киричок И.Ф. Связанные задачи теории вязкоупругих пластин и оболочек. – Киев: Наукова думка. – 1986. – 224с.
3. Механика связанных полей в элементах конструкций: В 5-ти т. / под общей ред. А.Н.Гузя. Т. 4. Карнаухов В.Г., Киричок И.Ф. Электротермовязкоупругость. – К.: Наук. думка, 1988. – 320с.
4. Карнаухов В.Г., Михайленко В.В. Нелинейная термомеханика пьезоэлектрических неупругих тел при моногармоническом нагружении. – Житомир: ЖГТУ. – 2005. – 428с.
5. Булат А.Ф., Дырда В.И., Карнаухов В.Г., Звягильский Е.Л., Кобец А.С. Прикладная механика упруго–наследственных сред. В 3–х томах. Т.3. Термомеханическая теория вязкоупругих тел. – К.: Наук. думка, 2013. – 428 с.
6. Булат А.Ф., Дырда В.И., Карнаухов В.Г., Звягильский Е.Л., Кобец А.С. Прикладная механика упруго–наследственных сред. В 3–х томах. Т.4 (доп.). Вынужденные колебания и диссипативный разогрев неупругих тел. – К.: Наук. думка, 2014.. – 520 с.
7. Карнаухов В.Г., Козлов В.І., Січко В.М., Завгородній А.В. Тривимірні задачі про коливання і дисипативний розігрів тіл обертання з пасивних і п'єзоактивних в'язкопружних матеріалів. – Миколаїв: Іліон, 2017. – 126 с.
8. Ильюшин А.А., Победря Б.Е. Основы математической теории термовязкоупругости. – М.: Наука, 1970. – 280 с.

### **8.2. Додаткові**

9. Бленд Д. Теория линейной вязкоупругости. – М.: Мир, 1965. – 200с.
10. Гузь А.Н. Устойчивость трехмерных деформируемых тел. – Киев: Наук. думка, 1971. – 276с.

11. Механика композитов: в 12т. / под общей ред. Гузя А.Н. Т.9 Кубенко В.Д., Бабаев А.Э., Беспалова Е.И., Василенко А.Т., Григоренко А.Я., Заруцкий В.А., Карнаухов В.Г. и др. Динамика элементов конструкций. – К.: А.С.К. – 1999. – 379 с.
12. Механика композитов: в 12т. / под общей ред. Гузя А.Н. Т.6 Гузь А.Н., Шульга Н.А., Томашевский В.Т., Захватов А.С., Карнаухов В.Г. и др. Технологические напряжения и деформации в материалах. К.: А.С.К.– 1997. – 394 с.
13. Карнаухов В.Г., Сенченков И.К., Гуменюк Б.П. Термомеханическое поведение вязкоупругих тел при гармоническом нагружении. – Киев, Наукова думка. – 1985.– 288с.
14. Карнаухов В.Г., Гуменюк Б.П. Термомеханика предварительно деформированных вязкоупругих тел. – К.: Наук. думка. – 1990. – 304с.
15. Karnaukhov V. G., Kirichok I. F., Kozlov V. I. Thermomechanics of inelastic thin-walled structural members with piezoelectric sensors and actuators under harmonic loading (Review) // Int. Appl. Mech. – 2017. – Vol. 53, Issue 1. – P. 6–58. – DOI: <https://doi.org/10.1007/s10778-017-0789-3>
16. Karnaukhov V.G. The Forced Harmonic Vibrations and Dissipative Heating of Nonelastic Bodies //Encyclopedia of Thermal Stresses /Ed: Richard B. Hetnarski. – New York, Dordrecht: Springer, 2014. – Vol. 4. – P. 1711-1722.
17. Karnaukhov V.G. Piezothermo-Inelastic Behaviour of Structural Elements: Vibrations and Dissipative Heating //Encyclopedia of Thermal Stresses /Ed: Richard B. Hetnarki. – New York, Dordrecht: Springer, 2014. – Vol. 7. – P. 3910-3919.