

**НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ**  
**Інститут проблем машинобудування ім. А.М. Підгорного НАН України**

**«ЗАТВЕРДЖУЮ»**

Заступник директора з наукової роботи \_\_\_\_\_  
*А.О. Костіков* А.О. Костіков  
(підпис) (ініціали та прізвище)  
« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 201 \_\_\_\_\_ року  


**РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ**  
**МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ НЕСТАЦІОНАРНОГО ДЕФОРМУВАННЯ**  
**АНІЗОТРОПНИХ КОНСТРУКЦІЙ**

( назва навчальної дисципліни)

галузь знань \_\_\_\_\_ **11 Математика та статистика** \_\_\_\_\_  
(шифр і назва)

спеціальність \_\_\_\_\_ **113 Прикладна математика** \_\_\_\_\_  
(шифр і назва )

2019/2020 навчальний рік

Програму рекомендовано до затвердження Вченою радою ІПМаш НАН України  
18 жовтня 2018 року, протокол № 10.

Розробник програми:  
Пров. наук. співр., д-р техн. наук,  
ст. наук. співр.



(підпис)

С.В. Угрімов  
(ініціали та прізвище)

Робочу програму схвалено на засіданні відділу математичного моделювання та  
оптимального проектування, протокол № 2 від 5 вересня 2018 р.

Завідувач відділу  
математичного моделювання та  
оптимального проектування,  
чл.-кор. НАН України.



(підпис)

Ю.Г. Стоян  
(ініціали та прізвище)

Програму погоджено науково-технічною проблемною радою «Математичне  
моделювання. Механіка деформівного твердого тіла. Динаміка та міцність  
машин»  
Протокол №5 від 6 вересня 2018 року.

Голова НТПР  
чл.-кор. НАН України



(підпис)

Ю.Г. Стоян  
(ініціали та прізвище)

## ВСТУП

Програма навчальної дисципліни «Моделювання процесів нестационарного деформування анізотропних конструкцій» складена відповідно до освітньо-наукової програми підготовки здобувачів вищої освіти ступеня доктора філософії за спеціальністю 113 Прикладна математика.

## 1. ОПИС НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

### 1.1 Мета навчальної дисципліни

**Мета:** забезпечити поглиблення та формування узагальнюючих теоретичних знань по механіці та динаміці анізотропних конструкцій, а також надбання практичних навичок по застосуванню методів математичного моделювання до розв'язання задач динаміки анізотропних гетерогенних конструкцій, які виникають при розгляді реальних елементів конструкцій у різних технологічних сферах.

### 1.2 Основні завдання вивчення дисципліни

Основним завданням вивчення дисципліни є оволодіння математичними методами механіки та динаміки анізотропних середовищ.

Процес вивчення дисципліни спрямований на формування наступних компетентностей:

- 1) здатність використовувати в професійній діяльності базові знання механіки твердого деформованого тіла та анізотропної теорії пружності;
- 2) здатність математично формалізувати постановку завдання;
- 3) здатність обирати та застосовувати математичні методи механіки суцільних середовищ для розв'язання практичних задач дослідження, моделювання, аналізу;
- 4) здатність зрозуміти постановку завдання, сформульовану мовою певної предметної галузі, сформулювати математичну постановку задачі, спираючись на постановку мовою предметної галузі та обирати метод її розв'язання, що забезпечує потрібні точність і надійність результат;
- 5) здатність використовувати математичні методи та прийоми для аналітичного розв'язання задач, що описуються диференціальними рівняннями;
- 6) здатність використовувати математичні методи та спеціальні алгоритми для чисельного розв'язання задач динаміки стрижнів, пластин та тривимірних тіл.

### 1.3 Кількість кредитів – 3

### 1.4 Загальна кількість годин – 90

### 1.5 Характеристика навчальної дисципліни

Дисципліна за вибором	
Вид підсумкового контролю	залік
Рік підготовки	1-й
Семестр	1-й
Лекції	30 год.
Практичні, семінарські заняття	год.
Лабораторні заняття	год.
Самостійна робота	60 год.
Індивідуальні заняття	год.

## **1.6 Заплановані результати навчання**

За результатами вивчення дисципліни аспірант повинен

### **знати:**

- фізичну суть явищ, що відбуваються в елементах конструкцій під дією нестационарних навантажень;
- основні положення теорії пружності анізотропного тіла;
- основні типи симетрії анізотропного тіла;
- основні теоретичні положення інженерного розрахунку елементів конструкцій на міцність при дії динамічних і ударних навантажень;
- методи дослідження хвильових процесів у тілах;
- чисельні методи інженерних розрахунків на міцність типових деталей та вузлів техніки при дії динамічних і ударних навантажень.

### **уміти:**

- перетворювати тензор жорсткості при повороті вісей координат;
- виконувати розрахунки найпростіших елементів конструкцій (стрижнів, пластин) на міцність при дії на них динамічних і ударних навантажень;
- аналізувати процес розповсюдження хвиль у тілах;
- використовувати чисельні методи та ЕОМ при виконанні розрахунків на міцність при дії динамічних навантажень.

### **Бути ознайомленими:**

- з чисельними та аналітичними методами аналізу фізичних процесів та явищ, що виникають при дії нестационарних навантажень;
- з постановками задач про розповсюдження хвиль у анізотропних тілах;
- з методами експериментального дослідження напруженого і деформованого стану при нестационарних навантаженнях;
- з критеріями міцності композитних матеріалів.

### **Мати навички:**

- застосування чисельних методів до розв'язання задач динаміки;
- застосування аналітичних методів до аналізу процесів нестационарного деформування анізотропних конструкцій.

## Тематичний план навчальної дисципліни

### Розділ 1. Теоретичні основи теорії пружності анізотропного тіла

*Тема 1. Анізотропія. Узагальнений закон Гука.*

Анізотропні матеріали. Композити, нанокомпозити, кристалічні матеріали. Рівняння рівноваги. Узагальнений закон Гука.

*Тема 2. Пружна симетрія.*

Тезор напружень і жорсткості. Основні типи симетрії. Ортотропія, трансверсальна ізотропія. Симетрія та пружність кристалів.

*Тема 3. Перетворення пружних констант при повороті осей.*

Перетворення коефіцієнтів деформації. Перетворення пружних констант при повороті осей. Поверхні та криві зміни пружних сталих із зміною напрямку.

*Тема 4. Загальні рівняння теорії пружності.*

Загальні рівняння теорії пружності та постановка основних задач. Рівняння рівноваги, рівняння Бельтрамі-Мітчела. Варіаційна постановка. Найпростіші випадки пружної рівноваги анізотропних тіл (розтяг стрижня під впливом власної ваги та осьової сили, зсув прямокутного паралелепіпеда, всебічне стиснення, згин балки моментами прикладеними на кінцях).

*Тема 5. Композити, нанокомпозити, кристалічні матеріали.*

Армування композитних матеріалів. Матриця та волокно. Скловолокно, вуглеволокно. Наноармування. Визначення пружних сталих для композитів та нанокомпозитів. Міцність.

### Розділ 2. Нестаціонарне деформування анізотропних елементів конструкцій

*Тема 1. Нестаціонарне навантаження.*

Принцип Даламбера. Фізичні процеси та явища, що виникають при дії на тверді тіла нестаціонарних навантажень. Механічні коливання. Коливання систем з однією степеню свободи. Вплив внутрішнього тертя. Резонанс. Динамічні напруження.

*Тема 2. Основні математичні методи розв'язання задач динаміки.*

Інтегрування диференціальних рівнянь. Метод операційного обчислення, метод скінчених різниць, метод скінчених елементів.

*Тема 3. Експериментальні методи дослідження процесів нестаціонарного деформування конструкцій*

Метод динамічного широкосмугового тензометрування. Дослідження механічних властивостей матеріалів при високошвидкісному деформуванні. Голографічний метод.

*Тема 4. Нестаціонарне деформування стрижня.*

Рівняння повздовжніх коливань стрижня. Класичне рівняння. Модель Релея. Розрахунок стрижня при імпульсному навантаженні.

*Тема 5. Класичні та некласичні моделі рівнянь теорії анізотропних оболонок.*

Математичні моделі тонкостінних пластин та оболонок. Розрахунок коливань ортотропної пластини при імпульсному навантаженні.

### **Розділ 3. Ударне навантаження анізотропних конструкцій та розповсюдження хвиль**

*Тема 1. Основні положення теорії механічного удару.*

Ударні сили та імпульс. Гіпотеза Ньютона. Поздовжній удар пружних стрижнів. Модель Герца, модель Штаермана, модель Тана (T. M. Tan) і Сана (C. T. Sun).

*Тема 2. Поздовжній удар по анізотропним стрижням.*

Постановка та розв'язок задачі про відгук стрижня на поздовжній удар твердим тілом.

*Тема 3. Поперечний удар по пластинам.*

Постановка та розв'язок задачі про відгук ортотропної пластини при поперечному ударі твердим тілом

*Тема 4. Хвильові процеси у анізотропних тілах.*

Процеси розповсюдження хвиль у тілах. Рівняння Кристофеля. Відбиття хвиль.



## СТРУКТУРА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Назви розділів і тем	Кількість годин					
	Усього	у тому числі				
		лекції	практ.	лаб.	сем. інд.	с.р.
1	2	3	4	5	6	7
<b>Розділ 1. Теоретичні основи теорії пружності анізотропного тіла</b>						
Тема 1. Анізотропія. Узагальнений закон Гука	5	2				3
Тема 2. Пружна симетрія.	5	2				3
Тема 3. Перетворення пружних констант при повороті осей	5	2				3
Тема 4. Загальні рівняння теорії пружності	7	2				5
Тема 5. Композити, нанокompозити, кристалічні матеріали	6	2				4
<b>Разом за розділом 1</b>	<b>28</b>	<b>10</b>				<b>18</b>
<b>Розділ 2. Нестационарне деформування анізотропних елементів конструкцій</b>						
Тема 1. Нестационарне навантаження. Коливання	6	2				4
Тема 2. Основні математичні методи розв'язання задач динаміки	6	2				4
Тема 3. Експериментальні методи дослідження процесів нестационарного деформування конструкцій	6	2				4
Тема 4. Нестационарне деформування анізотропного стрижня	5	2				3
Тема 5. Класичні та неklasичні моделі рівнянь теорії анізотропних оболонок	8	3				5
<b>Разом за розділом 2</b>	<b>31</b>	<b>11</b>				<b>20</b>
<b>Розділ 3. Ударне навантаження анізотропних конструкцій та хвильові процеси</b>						
Тема 1. Основні положення теорії механічного удару	7	3				4
Тема 2. Поздовжній удар по анізотропним стрижням.	8	2				6
Тема 3. Поперечний удар по пластинам.	8	2				6
Тема 4. Хвильові процеси у анізотропних тілах.	8	2				6
<b>Разом за розділом 2</b>	<b>31</b>	<b>9</b>				<b>22</b>
<b>Усього</b>	<b>90</b>	<b>30</b>				<b>60</b>

#### 4. Завдання для самостійної роботи

№ з/п	Назва видів самостійної роботи	Кількість годин
1	Композити, нанокompозити та кристалічні матеріали в сучасній техніці	3
2	Симетрія кристалів. Гратки кристалів	3
3	Поверхні та криві зміни пружних сталей із зміною напрямку	3
4	Зсув прямокутного паралелепіпеда, всебічне стискання, згин балки моментами прикладеними на кінцях згин балки моментами прикладеними на кінцях	5
5	Методи визначення пружних сталей для композитів та нанокompозитів	4
6	Коливання систем з однією степеню свободи,. Вплив внутрішнього тертя. Резонанс.	4
7	Метод скінченних елементів для задач динаміки. Скінченноелементні комплекси для розв'язання задач динаміки механічних систем	4
8	Голографічні методи	4
9	Модель Релея.	3
10	Математичні моделі для оболонок. Розрахунок коливань ортотропної пластини при імпульсному навантаженні.	5
11	Модель Штаермана. Модель Т. М. Тан і С. Т. Sun.	4
12	Розрахунок відгуку стрижня при повздовжньому ударі твердим тілом.	6
13	Розрахунок задачі про відгук ортотропної пластини при поперечному ударі твердим тілом	6
14	Відбиття хвиль. Побудова поверхонь хвиль для кристалів	6
<b>Разом</b>		<b>60</b>

#### 5. МЕТОДИ КОНТРОЛЮ

Поточний контроль теоретичних знань реалізується методом усного опитування. На заняттях оцінюється здатність здобувача вищої освіти приймати участь у науковій дискусії.

Контроль складової робочої програми, яка освоюється під час самостійної роботи студента, проводиться під час подання лекційного матеріалу шляхом проведення дискусії. Форма організації самостійної роботи – за робочим планом за випереджальною формою навчання.

Результати поточного контролю враховуються для виставлення оцінки з дисципліни. Форма підсумкового контролю – залік.



## 6. РОЗПОДІЛ БАЛІВ ТА ШКАЛА ОЦІНЮВАННЯ ЗНАНЬ ТА УМІНЬ

Розподіл балів для оцінювання успішності

Поточний контроль, самостійна робота та індивідуальне завдання														Разом	Залік	Сума
Розділ 1					Розділ 2					Розділ 3						
T1	T2	T3	T4	T5	T1	T2	T3	T4	T5	T1	T2	T3	T4			
5	5	5	5	5	5	5	5	6	6	7	7	7	7	80	20	100

Шкала оцінювання знань та умінь

Сума балів за всі види навчальної діяльності	Оцінка
50 ... 100	зараховано
0 ... 49	незараховано

### РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

Назви підручників, навчальних посібників

Базова література

№ п/п	Назви підручників
1	<i>Лехницький С. Г.</i> Теория упругости анизотропного тела / С.Г. Лехницький. М.: Наука, 1977. – 416 с.
2	<i>Работнов Ю. Н.</i> Механика деформируемого твердого тела / Ю. Н. Работнов. М.: Наука, 1979. – 744 с.
3	<i>Новацкий В.</i> Теория упругости / В. Новацкий. М. Мир, 1975. – 372 с.
4	<i>Федоров Ф. И.</i> Теория упругих волн в кристаллах / Ф.И. Федоров. М.: Наука, 1965
5	<i>Пановко Я.Г.</i> Введение в теорию механических колебаний: учебное пособие для вузов / Я.Г. Пановко. М.: Наука, 1991. – 256 с.
6	<i>Победря Б. Е.</i> Механика композиционных материалов / Б. Е. Победря. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1984.

Допоміжна література

№ п/п	Назви навчальних посібників
1	<i>Григорьева Н.А.</i> Курс лекций по динамике. Часть 1 [Текст]: учебное пособие / Н.А. Григорьева, О.И. Данейко, О.Н. Попов; под ред. профессора Т.А. Ковалевской. Томск. Изд-во Том. гос. архит.- строит. ун-та, 2006. – 121 с.
2	<i>Гагауз П.М.</i> Проектирование и конструирование изделий из композиционных материалов. Теория и практика: учебник /П.М. Гагауз, Ф.М. Гагауз, Я.С. Карпов, С.П. Кривенда; под общ. ред. Я.С. Карпова. Х.: Нац. аэрокосм. ун-т им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», 2015. – 672 с.

3	<i>Филиппов А.П.</i> Колебания деформируемых систем / <i>А.П. Филиппов.</i> М.: Машиностроение, 1970–736 с..
4	<i>Мартыненко В.С.</i> Операционное исчисление./ <i>В.С. Мартыненко.</i> К.:Выща школа, 1990. – 359 с.
5	<i>Самарский А.А.</i> Введение в теорию разностных схем / <i>А.А. Самарский.</i> М.: Наука,1971. – 552 с.
6	<i>Джонсон К.</i> Механика контактного взаимодействия / <i>К. Джонсон.</i> М.: Мир, 1989. – 512 с.
7	<i>Тимошенко С. П.</i> Колебания в инженерном деле / <i>С. П. Тимошенко.</i> М.: Наука, 1967. – 444 с.
8	<i>Шутиков А.Н.</i> Нестационарные колебания многослойных пластин и оболочек и их оптимизация / <i>А.Н. Шутиков, Я.П. Бузько, Н.В. Сметанкина, С.В. Угримов.</i> Харьков: ХНЭУ, 2004. – 252 с.
9	<i>Дьелесан Э.</i> Упругие волны в твердых телах. Применение для обработки сигналов / <i>Э. Дьелесан, Д. Руайе.</i> М.: Наука, 1982. – 424 с
10	<i>Штаерман И. Я.</i> Контактные задачи теории упругости / <i>И. Я. Штаерман.</i> М.: Гостехиздат, 1949. – 272.
11	<i>Кильчевский Н.А.</i> Теория соударения твердых тел. Киев: Наукова думка, 1969. – 246 с.
12	<i>Гольдсмит В.</i> Удар. Теория и физические свойства соударяемых тел / <i>В. Гольдсмит.</i> М.: Госстройиздат, 1965. – 447 с.
13	Динамика удара / <i>Дж. А. Зукас, Т. Николас, Х. В. Свифт, Л. Б. Грещук, Д. Р. Курран.</i> М.: Мир, 1985. – 296 с.
14	<i>Филиппов А. П.</i> Деформирование элементов конструкций под действием ударных и импульсных нагрузок / <i>А. П. Филиппов, С. С. Кохманюк, Е. Г. Янютин.</i> К.: Наук. думка, 1978. – 183 с.
15	<i>Васидзу К.</i> Вариационные методы в теории упругости и пластичности. М.: «Мир», 1987– 542 с.

## ІНФОРМАЦІЙНІ РЕСУРСИ В ІНТЕРНЕТІ

1. Чекалкин А.А., Котов А.Г. Лекции по динамике и устойчивости композитных конструкций. Пермь: Пермский гос. техн. ун-т, 2004. – 75с. Режим доступа: <http://kafedra-mkmk.ru/wp-content/uploads/2017/01/A-A-Чекалкин-А-Г-Котов-ЛЕКЦИИ-ПО-ДИНАМИКЕ-И-УСТОЙЧИВОСТИ-КОМПОЗИТНЫХ-КОНСТРУКЦИЙ.pdf>
2. Аннин Б. Д., Остросаблин Н. И. Анизотропия упругих свойств материалов // Прикладная механика и техническая физика. 2008. Т. 49, N-6. Режим доступа: [www.sibran.ru/upload/iblock/1bd/1bd6fe91f391725a53bb7745b7529af8.pdf](http://www.sibran.ru/upload/iblock/1bd/1bd6fe91f391725a53bb7745b7529af8.pdf)