



**Розробник:** Улітко Ігор Андрійович, кандидат фізико-математичних наук, доцент кафедри теоретичної та прикладної механіки.

ЗАТВЕРДЖЕНО  
Зав. кафедри  
теоретичної та прикладної механіки

  
Жук Я.О.

Протокол № 1 від 28 серпня 2020 р.

Схвалено науково-методичною комісією механіко-математичного факультету

Протокол від «31» серпня 2020 року № 1

Голова науково-методичної комісії  (проф. Олійник А.С.)

**1. Мета дисципліни** – ознайомити студентів з практичними засадами виконання науково-дослідних робіт в сучасній МДТТ у вигляді комплексу досліджень, що поєднує елементи побудови математичних моделей механічних систем і процесів та їх змістовного аналізу на основі фізичного та/або комп'ютерного експерименту і числового моделювання.

**2. Попередні вимоги до опанування або вибору навчальної дисципліни:**

1. *Знати:* основні означення, аксіоми та теореми з таких дисциплін: теоретична механіка (статика, кінематика, динаміка, аналітична механіка), теорія пружності, теорія пластин і оболонок; основні поняття, фізичні закони та постулати електромагнітної теорії Максвелла, фізики провідників та діелектриків; основні означення, поняття та методи крайових задач математичної фізики, диференціальних рівнянь звичайних та в частинних похідних, лінійної алгебри, аналітичної геометрії та математичного аналізу.

2. *Вміти:* аналітично та за допомогою числових методів розв'язувати системи лінійних алгебраїчних рівнянь, обраховувати інтеграли, сумувати ряди, розв'язувати звичайні диференціальні рівняння та рівняння в частинних похідних; вміти здійснювати постановку основних граничних задач теорії потенціалу та задач механіки в напруженнях і в переміщеннях.

3. *Володіти елементарними навичками:* побудови алгоритмів та реалізації їх в програмному коді або в пакетах комп'ютерної математики, застосування графічного інтерфейсу для візуалізації результатів, застосування аналітично-числових методів обробки експериментальних числових даних і сигналів.

**3. Анотація навчальної дисципліни:**

Навчальна дисципліна «Аналітично-чисельне моделювання механічних систем і процесів» є складовою освітньої програми підготовки фахівців за освітнім рівнем «магістр» в галузі знань – 11 «Математика та статистика», спеціальності – 113 «Прикладна математика», освітньої програми – «Комп'ютерна механіка».

За науково-методологічну базу обрано зв'язані електропружні динамічні процеси в п'єзоактивних перетворювачах енергії. В курсі висвітлюються питання побудови складених математичних моделей, їх декомпозиції та синтезу, еволюції основних фізико-механічних характеристик на основі базових моделей електропружних систем, що мають розвинену комп'ютерну реалізацію і верифікуються за даними експерименту. Для постановки натурних експериментів і виконання лабораторних робіт використовуються промислові зразки з п'єзокераміки та експериментальні стенди.

Дана дисципліна є вибірковою.

Викладається у **3 семестрі 2 курсу** в обсязі **120 год. (4 кредити ECTS<sup>1</sup>)** зокрема: лекції – 20 год., лабораторні заняття – 14 год., консультації – 6 год., самостійна робота – 80 год. У курсі передбачено 2 змістових модулів та 2 модульні колоквиуми. Завершується дисципліна **іспитом**.

<sup>1</sup> кредитів ECTS – кредит кратний 30 годинам

#### 4. Завдання (навчальні цілі)

ознайомлення студентів з засобами побудови математичних моделей механічних систем і процесів на досвіді вивчення спряжених електромеханічних коливань п'єзоперетворювачів різного практичного застосування; розвиток у студентів *навичок*:

- критичного аналізу складної математичної моделі шляхом її декомпозиції та синтезу зв'язаних елементів більш простих послідовних моделей,
- порівняльного аналізу та дослідження еволюції зв'язаних моделей та формулювання висновків комплексного наукового дослідження;
- підготовки та здійснення реального фізичного експерименту, оцінки достовірності моделей, їх точності, адекватності та повноти.
- застосування знань, умінь, навичок і комунікацій у професійній діяльності, розвиток логічного та аналітичного мислення

Ці завдання навчальної дисципліни відповідають таким загальним (ЗК) та фаховим (ФК) компетентностям спеціальності:

1. здатність учитися, здобувати нові знання, уміння, у тому числі в галузях, відмінних від прикладної математики (ЗК1);
2. здатність використовувати у професійній діяльності знання з галузей математичних, природничих, соціально-гуманітарних та економічних наук (ЗК2);
3. здатність вирішувати проблеми у професійній діяльності на основі абстрактного мислення, аналізу, синтезу та прогнозу (ЗК3);
4. здатність спілкуватися державною мовою і усно і письмово (ЗК8);
5. здатність грамотно будувати комунікацію, виходячи з мети і ситуації спілкування (ЗК10);
6. здатність критично оцінювати та переосмислювати власний і чужий досвід, аналізувати свою професійну й соціальну діяльність (ЗК11);
7. знання на рівні новітніх досягнень, необхідні для дослідницької та/або інноваційної діяльності у сфері прикладної математики і комп'ютерної механіки та їх практичних застосувань (ФК1);
8. спроможність розуміти проблеми та виділяти їхні суттєві риси (ФК4);
9. спроможність розробляти математичну модель ситуації з реального світу та переносити математичні знання у нематематичні контексти (ФК5);
10. здатність доводити знання та власні висновки до фахівців та нефаківців (ФК6);
11. здатність самостійно розробляти проекти шляхом творчого застосування існуючих та генерування нових ідей прикладної та теоретичної механіки та механіки суцільних середовищ (ФК7);
12. здатність до розвитку нових та удосконалення існуючих методів аналізу, моделювання, прогнозування, розв'язування нових проблем у нових галузях знань (ФК8);
13. здатність до самоосвіти та підвищення кваліфікації на основі інноваційних підходів у сфері прикладної математики (ФК10);
14. володіння знаннями та здатність ініціювати й проводити наукові дослідження у спеціалізованій області прикладної математики (ФК12).

## 5. Результати навчання за дисципліною:

Результат навчання (1.- знати; 2.- вміти; 3.- комунікація; 4.- автономність та відповідальність)		Форми (та/або методи і технології) викладання і навчання	Методи оцінювання та пороговий критерій оцінювання (за необхідності)	Відсоток у підсумковій оцінці з дисципліни
Код	Результат навчання			
<b>1.</b>	<b>Студент має знати</b>			
1.1	Структуру повної системи рівнянь електропружності, фізичний зміст кожної групи рівнянь, формулювання фізично змістовних електричних та механічних граничних умов	<i>Лекції, лабораторні заняття</i>	<i>Активна робота на лекції, усні відповіді, модульний колоквіум № 1, іспит</i>	5%
1.2	Гіпотези плоского електропружного стану та згинної деформації, теорії планарних та згинних коливань одношарових та біморфних п'єзоелементів			5%
1.3	Основні положення енергетичної теорії електромеханічного перетворення, метод розрахунку коефіцієнтів електромеханічного зв'язку (КЕМЗ) за енергетичним критерієм			5%
1.4	Критерії відповідності математичної моделі фізичному явищу, яке досліджується за номенклатурою фізичних величин, за умовами виконання натурального експерименту, за діапазонами фізичної лінійності та нелінійності експериментальних даних	<i>Лекції, самостійна робота</i>	<i>Письмове есе на задану тему, іспит</i>	5%
1.5	Ознаки недовизначеності та перевизначеності математичної моделі	<i>Лекції, лабораторні заняття</i>	<i>Активна робота на лекції, усні відповіді, модульний колоквіум № 2, іспит</i>	5%
1.6	Принципи побудови і функціонування резонансних гіроскопічних сенсорів кутової швидкості обертання			5%
<b>2.</b>	<b>Студент повинен вміти</b>			
2.1	Виконуючи належні перетворення повної системи рівнянь електропружності, здійснювати побудову базових математичних моделей	<i>Лекції, лабораторні заняття, самостійна робота</i>	<i>Активна робота на лабораторних заняттях, модульний колоквіум № 1, іспит, виконання завдань, винесених на самостійну роботу</i>	5%
2.2	Виконувати порівняльний аналітичний та числовий аналіз складених математичних моделей при зміні геометричних параметрів системи та умов навантаження			5%
2.3	Виконувати оцінку характеристик електромеханічного перетворення за енергетичним критерієм			5%
2.4	Застосовуючи декомпозицію складної математичної моделі, обирати критерії побудови ієрархії простих математичних моделей, виконувати їх синтез			5%
2.5	Виконувати зйом амплітудно-частотних характеристик (АЧХ) на аналоговому та на цифровому експериментальних стендах			5%
2.6	Визначати експериментальні послідовності резонансних та антирезонансних частот коливань; визначати експериментально розподіли вузлових ліній нормальних мод коливань			5%

2.7	Будувати графічно та зберігати у вигляді файлів даних результати вимірювань АЧХ		<i>винесених на самостійну роботу</i>	5%
2.8	Виконувати розрахунок реальних механічних та електрофізичних констант п'єзоматеріалу, швидкостей хвиль, статичних КЕМЗ, коефіцієнтів Пуассона, тощо			5%
2.9	Встановлювати аналітичні формули або розробляти числові процедури для визначення струму провідності (АЧХ - аналіз); виконувати побудову функцій механічних переміщень та деформацій та функції електричної індукції (модальний аналіз)			5%
<b>3.</b>	<b>Комунікація</b>			
3.1	здатність будувати комунікацію: підготувати есе (презентацію) визначеної теми, виступити з доповіддю, підтримувати та модерувати наукову дискусію	<i>Лекції, лабораторні заняття</i>	<i>Активна робота на лекціях та лабораторних заняттях, модульні колоквиуми №1, №2</i>	5%
<b>4.</b>	<b>Автономність і відповідальність</b>			
4.1	Виконувати самостійний пошук та систематизацію науково-технічної інформації з Інтернет джерел та друкованої літератури, розвивати навички обробки, аналізу та синтезу науково-технічної інформації	<i>Самостійна робота</i>	<i>виконання завдань, винесених на самостійну роботу, письмове есе на задану тему</i>	5%
4.2	Спираючись на критичне відношення до відомих з літератури математичних моделей механічних систем і процесів виконувати власні наукові розробки в окресленій в курсі галузі механіки			5%
4.3	Усвідомлюючи відповідальність за достовірність та об'єктивність результатів теоретичних досліджень та експериментальних тестів, керуватися принципами доброчесності, не допускати фальсифікації результатів			5%

## 6. Співвідношення результатів навчання дисципліни із програмними результатами навчання

Результати навчання з дисципліни	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6	2.7	2.8	2.9	3.1	4.1	4.2	4.3
<b>Програмні результати навчання</b>																			
КС 1. демонструвати знання й розуміння основних концепцій, принципів, теорій фундаментальної та прикладної математики і використовувати їх на практиці	+	+	+	+	+		+	+	+	+									
КС 2. володіти основними положеннями та методами механіки, чисельними методами, методами дослідження операцій, методами комп'ютерного моделювання	+	+		+	+	+	+	+	+	+									
КС 4. поєднувати методи математичного та комп'ютерного моделювання з неформальними процедурами експертного аналізу для пошуку оптимальних рішень			+	+	+	+	+	+		+	+								
КС 5. будувати ефективні щодо точності обчислень, стійкості, швидкодії та витрат системних ресурсів алгоритми для чисельного дослідження математичних моделей та розв'язання практичних задач						+		+	+			+	+	+	+				
КС 6. вибирати раціональні методи та алгоритми розв'язання математичних задач оптимізації, дослідження операцій, оптимального керування і прийняття рішень, аналізу даних					+			+			+	+	+	+	+				
КС 7. уміти застосовувати сучасні технології програмування та розроблення програмного забезпечення, програмної реалізації чисельних і символьних алгоритмів						+		+	+	+			+	+	+		+	+	+
КС 8. розв'язувати окремі задачі механіки та задачі в міждисциплінарних галузях — соціології, економіці, екології та медицині			+	+	+	+				+							+	+	+
КС 9. використовувати в практичній роботі спеціалізовані програмні продукти та програмні системи комп'ютерної механіки.								+	+	+	+	+	+	+	+				
ЦМС 1. виявляти здатність до самонавчання та професійного розвитку				+	+		+	+		+	+	+	+		+		+	+	+
ЦМС 2. уміти організувати власну діяльність та одержувати результат у рамках обмеженого часу							+	+		+	+	+	+				+	+	+
ЦМС 4. уміти здійснювати збір, опрацювання, аналіз, систематизацію науково-технічної інформації, уникаючи при цьому плагіату	+			+	+					+						+	+	+	+
ЦМС 5. ефективно спілкуватися з питань інформації, ідей, проблем та рішень зі спеціалістами та суспільством загалом							+	+		+					+	+	+	+	+
ЦМС 7. демонструвати навички професійного спілкування, включаючи усну та письмову комунікацію українською мовою та принаймні ще однією з поширених європейських мов																+	+	+	+

## 7. Схема формування оцінки

### 7.1. Форми оцінювання студентів:

#### - оцінювання впродовж навчального періоду:

1. *Активна робота на лекції, усні відповіді:* РН1.1, РН1.2, РН1.3, РН1.4, РН1.5, РН1.6, РН3.1 – 6 балів/4 балів;
2. *Виконання завдань, винесених на самостійну роботу:* РН2.5–РН2.9, РН4.1–РН4.3 – 9 балів/5 бали;
3. *Виконання завдань на лабораторних заняттях:* РН2.1–РН2.9, РН3.1 – 9 балів/5 бали;
4. *Колоквіум 1:* РН1.1,–РН1.3, РН2.1–РН2.5, РН3.1 – 13 балів/7 балів;
5. *Колоквіум 2:* РН1.5, РН1.6, РН2.6–РН2.9, РН3.1 – 13 балів/7 балів;
6. *Написання есе на задану тему:* РН1.4, РН4.1–РН4.3 – 10 балів/7 балів;  
*Разом має бути 60 балів/35 балів;*

#### - підсумкове оцінювання: іспит

- *максимальна кількість балів, які можуть бути отримані:* 40 балів;
- *результати навчання, які будуть оцінюватись:* РН1.1–РН1.6, РН2.1–РН2.9;
- *форма проведення і види завдань:* письмова робота, усна співбесіда.

### 7.2. Організація оцінювання:

Активна робота на лекціях передбачає відповіді на додаткові запитання лектора; активна участь у дискусії під час лекції, наявність повного і якісного конспекта лекційного матеріалу; Самостійна робота передбачає повне виконання завдань самостійної роботи студента (СРС) включно з опрацюванням додаткового теоретичного матеріалу, винесеного на самостійне вивчення. Виконання лабораторних робіт передбачає виконання натурального експерименту в навчальній лабораторії згідно наданих інструкцій щодо лабораторних робіт.

Колоквіуми проводяться в час після занять і включають можливу співбесіду за результатами оцінювання.<sup>2</sup>

Критично-розрахунковий мінімум балів за навчання впродовж семестру становить 20 балів, рекомендований мінімум, розрахований з урахуванням специфіки дисципліни становить 35 балів. Студенти, які протягом семестру набрали сумарно меншу кількість балів ніж рекомендований мінімум 35 балів для підвищення балів отримують можливість написати додатковий колоквіум. Мінімальна кількість балів, які додаються до семестрових – 24 бали, тобто, якщо оцінка студента на іспиті є нижчою від мінімального порогового рівня (24 бали), то бали за іспит не додаються до семестрової оцінки (вважаються рівними нулю), а підсумкова оцінка із дисципліни є незадовільною;

У випадку відсутності студента з поважних причин відпрацювання та перездачі форм контролю здійснюються у відповідності до "Положення про організацію освітнього процесу в Київському національному університеті імені Тараса Шевченка" (2018), <http://www.univ.kiev.ua/pdfs/official/Organization-of-the-educational-process.pdf>.

<sup>2</sup> Допускається оцінювання за допомогою технологій дистанційного навчання



Форма іспиту – письмово-усна. Екзаменаційний білет складається із 3 завдань. Кожне завдання оцінюється від 0 до 10 балів. Додатково від 0 до 10 балів студент отримує за усне опитування. Всього за іспит можна отримати від 0 до 40 балів. Оцінка не може бути меншою за 24 бали.

### Терміни проведення форм оцінювання:

1. Модульний колоквиум №1: на 8-му тижні семестру.
2. Модульний колоквиум №2: на 14-му тижні семестру.
3. Оцінювання завдань винесених на самостійну роботу за РН2.1–РН2.4 на 8-му тижні, за РН2.5–РН2.9 на 14 тижні семестру.
4. Оцінювання есе за РН1.4 – на 8 тижні семестру

### 7.3. Шкала відповідності оцінок

<b>Відмінно / Excellent</b>	90-100
<b>Добре / Good</b>	75-89
<b>Задовільно / Satisfactory</b>	60-74
<b>Не задовільно / Fail</b>	0-59

### 8. Структура навчальної дисципліни. Тематичний план лекцій лабораторних робіт та СРС

теми	Назва теми	Кількість годин			
		Лекції	Лабораторні роботи	Самостійна робота	Інше
1	Базові математичні моделі резонансних п'єзоперетворювачів	2	4	38	
2	Еволюція математичних моделей п'єзоперетворювачів за рахунок зміни геометричних параметрів та умов навантаження	10	10	38	
3	Декомпозиція та синтез математичних моделей в сенсорних застосуваннях вібраційних хвильових гіроскопів	8		4	
	Всього годин за семестр	<b>20</b>	<b>14</b>	<b>80</b>	<b>6</b>

**Загальний обсяг 120 год.**, у тому числі:

Лекцій – 20 год.

Лабораторних занять – 14 год.

Консультацій – 6 год.

Самостійної роботи – 80 год.

## 9. Рекомендовані джерела:

### *Основні:*

1. Грінченко В.Т., Улітко А.Ф., Шульга Н.А. Электроупругость. - К.:Наукова думка, 1989. - 280 с.
2. Улітко А.Ф. Борисейко О.В., Улітко І.А. Прикладні методи в задачах електропружності. - К.: ВПЦ Київський університет. 2007. - 127с.
3. Лабораторні роботи з курсу “Електропружність”: Методичні вказівки до проведення лабораторних робіт / Борисейко О.В. Нікітенко В.М., Улітко І.А. – К.: ВОП мех-мат. факультету КНУ. 2009. - 49с.
4. Улітко І.А. Улітко А.Ф. Про особливості розрахункової моделі вібраційного гіроскопа камертонного типу з використанням біморфних п'єзокерамічних елементів // Зб. доп. VIII МНТК «Гіротехнології, навігація, керування рухом та конструювання» 21-22.04.2011 р., НТУУ КПІ., 2011. – Т1. – С.153-159.
5. Петрищев О.Н. Гармонические колебания пьезокерамических элементов. Ч1. Гармонические колебания пьезокерамических элементов в вакууме и метод резонанса-антирезонанса. - К: Аверс, 2012. - 299с.
6. Шульга М.О., Карлаш В.Л. Резонансні електромеханічні коливання п'єзоелектричних пластин. - К.: Наукова Думка, 2008. - 270 с.

### *Додаткові:*

1. Улітко А.Ф. К теории электромеханического преобразования энергии в пьезокерамических телах // Прикл. мех., Т.12, Вып. 10, 1977.
2. Berlincourt D.A., Curran D.R., Jaffe H. Piezoelectric and piezomagnetic materials and their function in transducers. /In: Physical Acoustics. Principles and Methods. Ed. W.P. Mason. – Vol. 1 – Pt. A./ Acad. Press., - 1964. – P. 170-267.
3. Ferroperm Piezoceramics. High Quality Components and Materials For The Electronic Industry – Catalogue – May, 2003. – 22 p.
4. Kocbach J. Finite Element Modeling of Ultrasonic Piezoelectric Transducers. - PhD Thesis. - University of Bergen. Dept. of Physics. - September 2000. - 204 p
5. Yang J. The Mechanics of Piezoelectric Structures. – Singapore: World Scientific. - 2006. – 313 p.
6. Preumont A. Mechatronics. Dynamics of electromechanical and piezoelectric systems. - Springer, 2006. -207p.
7. Kempe, V. Inertial MEMS Principles and Practice. – NY.: Cambridge University Press, 2011. - 475 p