

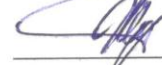


Розробники: Борисейко Олександр Віталійович, канд. фіз-мат. наук, доцент, доцент кафедри теоретичної та прикладної механіки; Улітко Ігор Андрійович, канд. фіз-мат. наук, доцент, доцент кафедри теоретичної та прикладної механіки;

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 № 1 від 31 серпня 2020 року

Голова науково-методичної комісії  професор, д.ф.-м.н. Олійник А.С.  
(підпис)

**1. Мета дисципліни** – ознайомлення з основними положеннями механіки зв'язаних електропружних полів та основними математичними моделями задач теорії електропружності; та оволодіння методами розв'язання таких задач.

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

1. *Знати:* основні положення курсу "Теоретична механіка"; основні означення; теореми та методи теорії пружності та теорії пласти та оболонки; постановку задач теорії пружності та теорії пластин та оболонки; основи інтегрального числення функцій однієї та багатьох змінних; методи розв'язання звичайних диференціальних рівнянь та диференціальних рівнянь в частинних похідних; основні спеціальні функції
2. *Вміти:* обчислювати інтеграли Рімана; поверхневі та об'ємні інтеграли; розв'язувати задачу Коші для звичайних диференціальних рівнянь, у тому числі, рівнянь, розв'язки яких записуються через спеціальні функції; розв'язувати задачі математичної фізики методом відокремлення змінних.
3. *Володіти елементарними навичками:* застосовування методу кінетостатики для отримання рівнянь динаміки пружного тіла; постановки задач теорії пружності в напруженнях та деформаціях; формулювання граничних умов трьох типів для вказаних задач; постановки задач теорії пластин та оболонки та формулювання граничних умов відносно інтегральних характеристиках.

**3. Анотація навчальної дисципліни:**

Навчальна дисципліна «Математичні моделі спряжених електропружних динамічних процесів» є складовою освітньої програми підготовки фахівців за освітнім рівнем «магістр» галузі знань – 11 «Математика та статистика», спеціальності – 113 «Прикладна математика», освітньої програми – «Комп'ютерна механіка».

У програмі дисципліни розглядаються такі поняття, як зв'язані електромеханічні поля та їх потенціал; постановка та розв'язання тривимірних задач електропружності; гіпотези деформування п'єзоелементів, аналогічні прикладним гіпотезам теорії пластин та оболонки; математичне моделювання задач статичного та динамічного деформування оболонкових елементів з п'єзокераміки; енергетична теорія електромеханічного перетворення.

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 модулі та 2 модульні колоквиуми. Завершується дисципліна **іспитом**.

**4. Завдання (навчальні цілі):**

ознайомлення студентів з постановками задач електропружності в тривимірній постановці, прикладних задач та методів їх розв'язування; набуття вміння проведення аналізу отриманих результатів та їх фізичного трактування, як для модельних задач, так і для прикладних задач динамічної теорії електропружності; проведення оцінки ефективності перетворення енергії в п'єзокерамічному тілі під дією електричного (механічного) навантаження відповідно до освітнього рівня «магістр». Зокрема, професійне оволодіння компетентностями:

- 1) Здатність учитися, здобувати нові знання, уміння, у тому числі в галузях, відмінних від прикладної математики; Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях (ЗК1).

---

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

- 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 нефахівців (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 (РН) (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 (Формуються розробником)			
РН 1.1	Основні тривимірні постановки задач електропружності в декартовій циліндричній та сферичній системах координат -	<i>Лекція, лаборатор на заняття</i>	<i>Колоквіум 1, іспит, активна робота на лекції, усні відповіді</i>	7%
РН 1.2	Методи розв'язку модельних задач електропружності для товстостінних оболонкових елементів з п'єзокераміки			10%
РН 1.3	Основні положення прикладних теорій електропружності, аналогічних гіпотезам теорії пластин та оболонок	<i>Лекція, лаборатор не заняття</i>	<i>Колоквіум 2, іспит, активна робота на лекції, усні відповіді</i>	10%
РН 1.4	Основні положення енергетичної теорії електромеханічного енергоперетворення .			10%
РН 1.5	Основні механічні ефекти, викликані керованим підводом електричної енергії до поверхневих електродів, нанесених на поверхні п'єзокерамічних тіл.			10%

PH 2.1	За допомогою метода відокремлення змінних зводити задачі динаміки оболонкових елементів до зв'язних систем диференціальних рівнянь відносно електричного потенціалу та відносно механічних компонентів поля. Знаходити відповідні загальні та частинні розв'язки та проводити аналіз отриманих результатів	<i>Лекція, лабораторне заняття, самостійна робота</i>	<i>Колоквіум 1, іспит, виконання завдань на лабораторних заняттях, виконання завдань, винесених на самостійну роботу</i>	10%
PH 2.2	На основі гіпотез деформування тонких п'єзокерамічних пластин та елементів здійснювати математична моделювання задач коливань п'єзокерамічних елементів з неповним електродним покриттям та з розрізними електродами.			7%
PH 2.3	Доводити розв'язання вказаних задач до отримання кількісних результатів, які характеризують ефективність перетворення енергії в об'ємі п'єзоелемента на основі енергетичного критерію			7%
PH 2.4	Виконувати аналіз отриманих результатів з описом виявлених механічних ефектів;			7%
PH 2.5	Використовувати знання та навички програмної реалізації математичних моделей задач динамічної теорії електропружності.			7%
PH 3.1	здатність грамотно будувати комунікацію, виходячи з мети і ситуації спілкування	<i>Лекція, лабораторне заняття</i>	<i>Колоквіум 1, 2, іспит, активна робота на лекціях, лабораторних заняттях</i>	5%
PH 4.1	продемонструвати розуміння особистої/персональної відповідальності за професійні та/або управлінські рішення, які базуються на використанні математичних методів	<i>Самостійна робота</i>	<i>Виконання завдань, винесених на самостійну роботу</i>	10%

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

<b>Результати навчання дисципліни (код)</b>	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	3.1	4.1
<b>Програмні результати навчання (назва)</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 символічних 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–РН1.5, РН3.1– 6 балів/3 балів;
2. Виконання завдань, винесених на самостійну роботу: РН2.1–РН2.3, РН4.1 – 15 балів/11 балів;
3. Колоквіум 1: РН1.1, РН1.2, РН2.1–РН2.3 – 15 балів/8 балів;
4. Колоквіум 2: РН1.3–РН1.5, РН2.4, РН2.5 – 15 балів/8 балів;
5. Виконання завдань на лабораторних заняттях: РН2.1–РН2.5, РН3.1 – 9 балів/5 бали;  
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–РН1.5, РН2.1–РН2.5;
- форма проведення і види завдань: письмова робота, усна співбесіда.

### 7.2. Організація оцінювання:

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 додаткову контрольну роботу та доскласти домашні завдання. Мінімальна кількість балів, які додаються до семестрових – 20 балів, тобто, якщо оцінка студента на іспиті є нижчою від мінімального порогового рівня (20 балів), то бали за іспит не додаються до семестрової оцінки;

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>.

Форма іспиту – письмово-усна. Білет іспиту складається із 3 теоретичних 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.

#### Терміни проведення форм оцінювання:

1. Колоквіум 1: на 7-му тижні навчального періоду.
2. Колоквіум 2: на 13-му тижні навчального періоду.
3. Оцінювання завдань винесених на самостійну роботу за РН2.1–РН2.3 на 8-му тижні.

### 7.3. Шкала відповідності оцінок

Оцінка (за національною шкалою) / National grade	Рівень досягнень, % / Marks, %
<b>Відмінно</b> / Excellent	90-100%
<b>Добре</b> / Good	75-89%
<b>Задовільно</b> / Satisfactory	60-74%
<b>Незадовільно</b> / Fail	0-59%
<b>Зараховано</b> / Passed	60-100%
<b>Не зараховано</b> / Fail	0-59%

## 8. Структура навчальної дисципліни. Тематичний план лекцій і лабораторних занять

№ п/п	Назва теми	У тому числі			
		Лекції	Практичні заняття	Лабораторні заняття	Самостійна робота
1	Феноменологічна теорія п'єзоелектричного ефекту. Потенціал зв'язаного електро-механічного поля. Повна система рівнянь електропружності.	2			10
2	Постановка основних задач електропружності. Електричні граничні умови	2		2	5
3	Модельні задачі коливань товстостінних оболонкових елементів. Задача про поздовжні коливання п'єзокерамічного стержня з поздовжньою поляризацією	2		2	15
4	Прикладні теорії деформування п'єзокерамічних елементів.	2		2	10
5	Рівняння деформації тонких п'єзокерамічних оболонок обертання. Радіальні коливання тонкостінних циліндричної та сферичної оболонок.	2		2	5
6	Енергетична теорія електромеханічного перетворення	4		2	10
7	Задачі коливань п'єзокерамічних елементів з частково неелектродованими поверхнями	4		2	15
8	Колівання п'єзокерамічних елементів під дією керованого електричного навантаження	2		2	10
	<b>Всього</b>	<b>38</b>		<b>14</b>	<b>80</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. Гринченко В.Т., Улітко А.Ф., Шульга Н.А. Электроупругость. – Киев: Наукова думка, 1989. – 198 с.
2. Улітко А.Ф. Борисейко В.О., Улітко І.А. Прикладні методи в задачах електропружності. - К.: ВПЦ Київський університет. 2007.

### Додаткові:

1. Мезон У. П. Пьезоэлектрические кристаллы и их применение в ультразвуке. – М., 1951.
2. Тимошенко С.П, Войновкий-Кригер С. Пластинь і оболочки. - М.: Физматгиз, - 1963
3. Ляв А. Математическая теория упругости – М.-Л.: ОНТИ, 1935. – 674 с.