

КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ІМЕНІ ТАРАСА ШЕВЧЕНКА  
Механіко-математичний факультет

Кафедра теоретичної та прикладної механіки

**«ЗАТВЕРДЖУЮ»**  
Заступник декана  
з навчальної роботи  
Харитонов О.М.  
«30» вересня 2020 року

**РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ**

**Теорія сенсорів та актуаторів**

для студентів

галузь знань	11 «Математика та статистика»
спеціальність	113 «Прикладна математика»
освітній рівень	другий (магістерський)
освітньо-наукова програма	«Комп'ютерна механіка»
вид дисципліни	вибіркова

Форма навчання	денна
Навчальний рік	2020/2021
Семестр	3
Кількість кредитів ECTS	4
Мова викладання, навчання та оцінювання	українська
Форма заключного контролю	залік

**Викладачі:**

Улітко Ігор Андрійович, кандидат фізико-математичних наук, доцент кафедри теоретичної та прикладної механіки, Борисейко Олександр Віталійович, канд. фіз.-мат. наук, доцент, доцент кафедри теоретичної та прикладної механіки

Пролонговано: на 2021/2022 н.р. О.М. Харитонов («30» серпня 2021 р.  
на 20\_\_/20\_\_ н.р. \_\_\_\_\_ («\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.


**КИЇВ – 2020**

**Розробники:** Улітко Ігор Андрійович, кандидат фізико-математичних наук доцент кафедри теоретичної та прикладної механіки. Борисейко Олександр Віталійович, 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** – поглиблене вивчення закономірностей спряжених динамічних хвильових процесів та процесів енергоперетворення в електро-механічно активних елементах сенсорів та актуаторів на базі сучасних математичних моделей механіки деформівного тіла.

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

1. *Знати:* основні поняття, означення, аксіоми, теореми дисциплін з циклу математичної підготовки: «математичний аналіз», «лінійна алгебра», «аналітична геометрія», «диференціальні та інтегральні рівняння», «математична фізика», «теорія функцій комплексної змінної», основні аксіоми, гіпотези, постулати та поняття дисциплін з циклу освітньої програми: «теоретична механіка», «теорія пружності», «теорія пластин та оболонок», «контактна механіка», «теорія електропружності».

2. *Вміти:* розв'язувати стандартні задачі з курсів математичного аналізу, лінійної алгебри, аналітичної геометрії, диференціальних та інтегральних рівнянь; володіти методами розділення змінних та інтегральних перетворень в крайових задачах математичної фізики.

3. *Володіти елементарними навичками:* інтегрального та диференціального числення векторних полів; побудови алгоритмів та програм для числових розрахунків розв'язків алгебраїчних систем, трансцендентних рівнянь, числового диференціювання та інтегрування, тощо із застосуванням графічного інтерфейсу для візуалізації результатів.

**3. Анотація навчальної дисципліни:**

Навчальна дисципліна «Теорія сенсорів та актуаторів» 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».

У програмі курсу розглядаються особливості зв'язаних електромеханічних коливань п'єзоелектричних елементів резонансних сенсорів та актуаторів – від традиційних технічних застосувань до мініатюрних елементів сучасних мікроелектромеханічних систем. На початку курсу вивчаються математичні моделі статичних актуаторів, потім висвітлюється низка питань розрахунку складених резонансних перетворювачів стержневого, балкового, пластинчатого та оболонкового типів, для яких встановлюються динамічні механічні та електрофізичні параметри сенсорної системи, а також параметри електромеханічного перетворення енергії. Практичними математичними моделями є вібраційний гіроскоп камертонного типу з п'єзоактивними сенсорними елементами; хвильовий гіроскоп Браянівського кільцевого типу, ультразвукові двигуни на біжущих та свтоячих хвилях. Оглядово висвітлюються питання електроніки, схемотехніки та алгоритмів побудови сенсорних систем та систем управління актуаторами.

Дана дисципліна є вибірковою.

Викладається у 3 семестрі 2 курсу в обсязі 120 год. (4 кредитів ECTS<sup>1</sup>) зокрема: лекції – всього 38 год., консультації – 2 год., самостійна робота – 80 год. У курсі передбачено 2 змістових модулі та 2 модульні колоквиуми. Завершується дисципліна заліком.

**4. Завдання (навчальні цілі).** Ознайомлення студентів з постановками задач про статичне деформування та вимушені коливання п'єзоперетворювачів сенсорів та актуаторів. Розвиток навичок застосування основних аналітичних та аналітико-числових методів аналізу механічних та електрофізичних характеристик сенсорів та актуаторів. Класифікація основних типів вібраційних ультразвукових двигунів та математичних моделей, що описують зв'язані процеси деформування в таких двигунах. Оволодіння навичками розробки основних типів вібраційних та хвильових гіроскопів та математичних моделей, що описують сенсорні параметри гіроскопів. Ці завдання відповідають таким компетентностям:

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

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

## 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. Студент має знати</b>				
1.1	Основні поняття про явища прямого та оберненого п'єзоелектричного ефекту в природних та штучних сегнетоелектриках, якісні та кількісні дані	<i>Лекція</i>	<i>Активна робота на лекції, усні відповіді, модульний колоквіум № 1, залік</i>	5%
1.2	Структуру повної системи рівнянь електропруженості, постановки основних граничних задач			8%
1.3	Основні дані математичних моделей вимушених резонансних коливань п'єзопретворювачів: резонанс, антирезонанс, струм провідності			8%
1.4	Основні теоретичні відомості про сенсорний гіроскопічний ефект в твердотільних вібраційних та хвильових гіроскопах		<i>Активна робота на лекції, усні відповіді, модульний колоквіум № 2, залік</i>	10%
1.5	Основні механічні ефекти, що проявляються в математичних моделях актуаторів руху на біжучих та стоячих хвилях			10%
<b>2. Студент має вміти</b>				
2.1	Будувати фізично адекватні математичні моделі сенсорів та актуаторів, спираючись на основні теоретичні відомості механіки зв'язаних хвильових полів	<i>Лекція, самостійна робота</i>	<i>Модульний колоквіум № 1, залік, виконання завдань, винесених на самостійну роботу</i>	10%
2.2	Вміти формалізувати фізичні явища на засадах механіки; аналізувати механічні моделі сенсорних елементів та актуаторів			8%
2.3	Доводити розв'язання проблем і задач теорії сенсорів і актуаторів до отримання кількісних результатів;			8%
2.4	Виконувати аналіз отриманих результатів з описом виявлених механічних ефектів;		<i>Модульний колоквіум № 2, залік, виконання завдань, винесених на самостійну роботу</i>	8%
2.5	Використовувати знання та навички програмної реалізації математичних моделей сенсорів та актуаторів			5%
<b>3. Комунікація</b>				
3.1	здатність будувати комунікацію, виходячи з мети і ситуації спілкування: підготувати презентацію визначеної теми, виступити з доповіддю, давати відповіді на запитання, підтримувати та модерувати наукову дискусію	<i>Лекція</i>	<i>Активна робота на лекції, усні відповіді, модульні колоквіуми</i>	5%
<b>4. Автономність та відповідальність</b>				
4.1	Викорнувати самостійний пошук та критично осмислювати інформацію з друкованої літератури та Інтернет джерел, що стосуються сенсорних технологій та актуаторів, розвивати навички обробки, аналізу та синтезу інженерно-технічної та наукової інформації.	<i>Самостійна робота</i>	<i>Виконання завдань, винесених на самостійну роботу</i>	5%
4.2	Виробляти критичне відношення до теоретичних аналітичних та числових мате-			5%

	матичних моделей сенсорів та актуаторів на основі діючих розробок та даних перспективних кспериментів			
4.3	Усвідомлювати відповідальність за достовірність та об'єктивність результатів виконаних досліджень, керуватися принципами доброчесності, не допускати фальсифікації теоретичних результатів та експериментальних даних			5%

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

Програмні результати навчання	Результати навчання дисципліни													
	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	3.1	4.1	4.2	4.3
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–РН1.5, РН3.1 – 6 балів/4 балів;
  2. Виконання завдань, винесених на самостійну роботу: РН2.1–РН2.5, РН4.1–РН4.3 – 9 балів/5 бали;
  3. Колоквіум 1: РН1.1–РН1.3, РН2.1–РН2.3, РН3.1 – 13 балів/7 балів;
  4. Колоквіум 2: РН1.4, РН1.5, РН2.4, РН2.5, РН3.1 – 13 балів/7 балів;
- Разом має бути 60 балів/35 балів;

#### - підсумкове оцінювання: залік

- максимальна кількість балів, які можуть бути отримані: 40 балів;
- результати навчання, які будуть оцінюватись:  
РН1.1, РН1.2, РН1.3, РН1.4, РН1.5, РН2.1, РН2.2, РН2.3, РН2.4, РН2.5;
- форма проведення і види завдань: письмова робота, співбесіда.

**Організація оцінювання.** Активна робота на лекціях передбачає відповіді на запитання, активну участь у дискусії під час лекції, наявність повного і якісного конспекта лекційного матеріалу та/або матеріалів лектора і рекомендованих матеріалів на електронних джерелах інформації; Самостійна робота передбачає повне виконання завдань самостійної роботи студента (СРС), включно з опрацюванням додаткового теоретичного матеріалу, матеріалу літературних джерел та Інтернет-ресурсів, віднесених до самостійного вивчення.

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

Критично-розрахунковий мінімум балів за навчання впродовж семестру

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

становить 20 балів, рекомендований мінімум, розрахований з урахуванням специфіки дисципліни становить 34 бали. Студенти, які протягом семестру набрали сумарно меншу кількість балів ніж рекомендований мінімум 34 бали для підвищення балів отримують можливість написати додатковий колоквіум. Мінімальна кількість балів, які додаються до семестрових – 24 бали, тобто, якщо оцінка студента на заліку є нижчою від мінімального порогового рівня (24 бали), то бали за залік 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>.

Форма заліку – письмово-усна. Залікове завдання складається із 3 питань. Залікова робота може бути виконаним як від руки, так і у вигляді електронної презентації. Кожне питання оцінюється від 0 до 10 балів. Додатково від 0 до 10 балів студент отримує за усне опитування. Всього за залік можна отримати до 40 балів. Залікова оцінка не може бути меншою за 24 бали.

#### **Терміни проведення форм оцінювання:**

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

### **7.3. Шкала відповідності оцінок**

<b>Зараховано / Passed</b>	60-100
<b>Не зараховано / Fail</b>	0-59



## 8. Структура навчальної дисципліни. Тематичний план лекційних занять

№ п/п	Назва теми	У тому числі			
		Лекції	Практичні заняття	Лабораторні заняття	Самостійна робота
1	Статичні п'єзоактуатори переміщень: згин консолі з різними типами поляризації	4			10
2	Деформація згинну одношарових п'єзопластин: статика, динаміка	2			5
3	Згинні коливання біморфних п'єзоелементів сенсорів та актуаторів	6			15
4	Осесиметричні коливання п'єзокерамічних оболонок	4			10
5	Енергетична теорія ефективності електро-механічного перетворення	4			5
6	Актуатори руху та переміщень на біжучих хвилях деформації в контакт: ультразвукові мікрохвильові двигуни	6			10
7	Осциляторний вібраційний гіроскоп камертонного типу.	6			15
8	Хвильовий гіроскоп оболонкового та кільцевого (брянівського) типу	6			10
	<b>Всього</b>	<b>38</b>			<b>80</b>

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

Лекцій – 38 год.

Консультацій – 2 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.
3. Жарий О.Ю., Улітко А.Ф. Введение в механику нестационарных колебаний и волн. - К.: Вища школа, 1989.
4. O.Yu. Zharii and A.F. Ulitko. Smooth contact between the running Rayleigh wave and a rigid strip. J. Appl. Mech., **62**, 362–397 (1995).
5. Журавлев В.Ф., Климов Д.М. Волновой твердотельный гироскоп. – М.: Наука, 1985.–126с
6. Улітко А.Ф. Коливання тонкої п'єзокерамічної циліндричної оболонки, що знаходиться в обертовому русі // Мат. методи і фіз.-мех. поля. – 1996. – Т. 39. – № 1. – С. 7-17.
7. Ulitko I.A. Mathematical theory of the fork-type wave gyroscope // Proceedings of the 1995 IEEE International Frequency Control Symposium. (San Francisco, 31 May – 2 June, 1995). – IEEE No 95CH35752: 1995. – P. 786-793.

### *Додаткові:*

1. Xia D., Yu C., Kong L. The development of micromachined gyroscope structure and circuitry technology // Sensors. – 2014. – 14. – P. 1394-1473
2. Kempe V. Inertial MEMS. Principles and Practice. - Cambridge university Press, - 2011 - 497 p.
3. Bryan G.H. On the beats in the vibrations of a revolving cylinder or bell // Proc. Cambridge Phil. Soc. Math. Phys. Sci. – 1890. – Vol.7. – P. 101–111
4. Мезон У. П. Пьезоэлектрические кристаллы и их применение в ультразвуке. – М., 1951.
5. Тимошенко С.П, Войновский-Кригер С. Пластинь и оболочки. - М.: Физматгиз, - 1963
6. Ляв А. Математическая теория упругости – М.-Л.: ОНТИ, 1935. – 674 с.
7. Острик В.І. Контактна механіка. - К.: ВПЦ Київський університет. 2015.
8. Джонсон К. Механика контактного взаимодействия. - М.: Мир. 1989. - 510 с.