



## ПРОЕКЦІЙНО-СІТКОВІ МЕТОДИ В МЕХАНІЦІ

### Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

#### Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	Перший (бакалаврський)
Галузь знань	13. Механічна інженерія
Спеціальність	131. Прикладна механіка
Освітня програма	Динаміка і міцність машин
Статус дисципліни	Вибіркова
Форма навчання	Очна (денна)
Рік підготовки, семестр	4 курс, осінній та весняний семестри
Обсяг дисципліни	5.5 + 4.0 кредитів (165 + 120 годин)
Семестровий контроль/ контрольні заходи	Екзамен, залік
Розклад занять	<a href="http://rozklad.kpi.ua/Schedules/ScheduleGroupSelection.aspx">http://rozklad.kpi.ua/Schedules/ScheduleGroupSelection.aspx</a>
Мова викладання	Українська
Інформація про керівника курсу / викладачів	Лектор: д.т.н., проф. Рудаков Костянтин Миколайович, <a href="mailto:knrudakov@ukr.net">knrudakov@ukr.net</a> Комп'ютерні практикуми: к.т.н., ст. викладач Дифучин Юрій Миколайович, <a href="mailto:dif62@ukr.net">dif62@ukr.net</a>
Розміщення курсу	<a href="https://do.ipk.kpi.ua/course/view.php?id=2722">https://do.ipk.kpi.ua/course/view.php?id=2722</a>

#### Програма навчальної дисципліни

##### 1. Опис навчальної дисципліни, її мета, предмет вивчення та результати навчання

Сучасний розвиток техніки висуває перед інженерами завдання про підвищення надійності й довговічності машин та конструкцій, що працюють у складних експлуатаційних умовах. Це викликає необхідність проведення масових модельних розрахунків, загальною рисою яких є застосування чисельних методів та ЕОМ, оскільки відомі аналітичні розв'язки здебільше стосуються "класичних" геометричних форм, властивостей матеріалів та умов навантаження.

Проекційно-сіткові методи є частиною чисельних методів, що спеціально розроблені для розв'язування крайових задач.

*Чисельні методи* – це інтерпретація математичних моделей (зокрема, й крайових задач) для її реалізації за допомогою простих математичних дій: додавання, віднімання, множення, ділення, а також логічних операцій: "так", "ні", "і", "або" й операції порівняння: "більше", "менше", "дорівнює". Тільки це і саме це вміє ЕОМ, причому дуже швидко.

*Крайова задача* – математична модель об'єкта, яка формалізована алгебраїчними, диференціальними, інтегральним та/або логічними зв'язками, створена для визначення деяких характеристик стану об'єкта і яка враховує його геометрію (*геометрична модель*), властивості матеріалу (*модель середовища*), вихідний стан (*початкові умови*), тип і характер впливу на об'єкт або його взаємодію з іншими об'єктами (*граничні умови*).

*Алгебраїзація* – приведення математичної моделі до вигляду, придатного для створення алгоритму її розв'язування на ЕОМ (невідомі ЕОМ операції диференціювання та інтегрування замінюються на алгебраїчні, з достатньою точністю).

*Алгоритм* – це набір інструкцій, що описують порядок дій виконавцем для розв'язування задачі за кінцеву кількість дій.

Для ЕОМ сформульовано, на перший погляд, парадоксальний принцип – *принцип некомпетентності Пітера*: "ЕОМ багаторазово збільшує некомпетентність обчислювача". Тобто у якості користувача програми, в якій реалізовано деякий алгоритм, може бути малоосвічена людина. І вона буде сприймати будь-які результати обчислень як вірні. Тому користувач, проводячи розрахунки об'єктів на міцність, повинен знати основи теорій та методів, закладених у спеціалізовані програми, їхні можливості та обмеження, щоб не допускати помилкові інженерні рішення, інакше кажучи – бути фахівцем з чисельних розрахунків.

**Метою** навчальної дисципліни "Проекційно-сіткові методи в механіці" є формування у студентів систематизованих знань щодо методів та алгоритмів для наближеного розв'язування крайових задач деформівного твердого тіла із застосуванням ЕОМ.

**Предметом** цієї навчальної дисципліни є ефективні методи розв'язування крайових задач механіки деформівного твердого тіла.

Студенти після засвоєння дисципліни мають продемонструвати такі результати навчання:

– **знання** про узагальнені постановки та проекційно-сіткові методи розв'язування крайових задач механіки деформівного твердого тіла із застосуванням ЕОМ;

– **уміння** ставити крайові задачі та призначати або розробляти ефективні проекційно-сіткові алгоритми їхнього розв'язування із застосуванням ЕОМ;

– **досвід** в обиранні або розробці алгоритмів розв'язування крайових задач механіки деформівного твердого тіла, а також у проведенні їхніх розрахунків на ПЕОМ.

Дисципліна на бакалаврському рівні освіти вивчається на протязі двох семестрів за такими кредитними модулями:

- проекційно-сіткові методи в механіці – 1. Стаціонарні задачі (осінній семестр);

- проекційно-сіткові методи в механіці – 2. Нестационарні задачі (весняний семестр).

## **2. Пререквізити та постреквізити дисципліни (місце в структурно-логічній схемі навчання за відповідною освітньою програмою)**

Дисципліна "Проекційно-сіткові методи в механіці" базується на раніше засвоєних дисциплінах: "Загальна фізика", "Вища математика", "Лінійна алгебра", "Теоретична механіка", "Механіка матеріалів і конструкцій", "Математична фізика", "Деталі машин і основи конструювання", "Теорія пружності", "Будівельна механіка машин", "Теорія коливань та стійкості руху", "Теорія пластичності та повзучості", "Механіка анізотропних конструкцій", "Інформатика", "Інженерна та комп'ютерна графіка".

Цією навчальною дисципліною забезпечуються навчальні дисципліни "Сучасні методи проектування", "Інформаційні системи та технології в машинобудуванні", "Спеціальні системи розрахунків" тощо.

## **3. Зміст навчальної дисципліни**

### **Кредитний модуль 1**

#### Розділ 1. Вступ. Загальні положення про об'єкти досліджень

Тема 1.1. Наближені числа та обчислення. Похибки

Тема 1.2. Основи теорії операторних рівнянь і функціонального аналізу

#### Розділ 2. Стаціонарні крайові задачі механіки деформівного твердого тіла

Тема 2.1. Загальні співвідношення механіки суцільних середовищ

Тема 2.2. Постановка крайових задач

#### Розділ 3. Методи розв'язування стаціонарних крайових задач

Тема 3.1. Поняття про алгебраїзацію крайових задач

Тема 3.2. Основні методи розв'язування стаціонарних крайових задач.

#### Розділ 4. Алгоритми методу скінченних різниць

Тема 4.1. Наближення стаціонарних крайових задач методом скінченних різниць

#### Розділ 5. Основи методу скінченних елементів

Тема 5.1. Ідея проєкційного методу скінченних елементів (МСЕ)

Тема 5.2. Скінченні елементи

#### Розділ 6. Алгоритми розв'язування стаціонарних крайових задач методом скінченних елементів

Тема 6.1. Просторове наближення крайової задачі стаціонарної теплопровідності за методом зважених похибок наближення та МСЕ

Тема 6.2. Скінченно-елементні алгоритми розрахунків стаціонарного теплового стану тіла

Тема 6.3. Алгоритми розрахунків стаціонарного напружено-деформованого стану в точці тіла

Тема 6.4. Загальні алгоритми розв'язування крайових задач термопружності й термопластичності за МСЕ

#### Розділ 7. Алгебра скінченно-елементного наближення та систем лінійних алгебраїчних рівнянь

Тема 7.1. Алгебра скінченно-елементного наближення

Тема 7.2. Алгебра систем лінійних алгебраїчних рівнянь у МСЕ

### **Кредитний модуль 2**

#### Розділ 1. Алгоритми розв'язування нестационарної крайової задачі теплопровідності методом скінченних елементів

Тема 1.1. Просторово-часове наближення нестационарної крайової задачі теплопровідності методом скінченних елементів. Вагова двошарова схема

Тема 1.2. Класичні та сучасні двошарові схеми, їхні властивості

Тема 1.3. Схеми з факторизованими операторами

#### Розділ 2. Алгоритми розв'язування крайових задач термоповзучості методом скінченних елементів

Тема 2.1. Постановка крайової задачі термоповзучості

Тема 2.2. Скінченно-елементні алгоритми розрахунку напружено-деформованого стану при термоповзучості

#### Розділ 3. Алгоритми розв'язування динамічних крайових задач методом скінченних елементів

Тема 3.1. Постановка динамічних крайових задач термопружності

Тема 3.2. Скінченно-елементне наближення динамічних крайових задач термопружності

Тема 3.3. "Прямі" схеми та методи розв'язування динамічних крайових задач термопружності

Тема 3.4. Економічні схеми з факторизованими операторами

Тема 3.5. Задача про власні частоти та форми коливань

Тема 3.6. Розв'язування динамічних крайових задач за методом суперпозиції мод. Передаточні функції АЧХ

Тема 3.7. Розв'язування динамічних крайових задач про стохастичне збудження пружного тіла

## **4. Навчальні матеріали та ресурси**

### **Базова література**

1. Рудаков К.М. Чисельні методи аналізу в динаміці та міцності конструкцій. В 2-х томах. Т.І. Чисельні методи алгебри: Навч. посібник [для студ. вищ. навч. закл. Електронний ресурс] / К.М. Рудаков – Київ: НТУУ "КПІ ім. Ігоря Сікорського", 2016. – 148 с.

2. Рудаков К.М. Чисельні методи аналізу в динаміці та міцності конструкцій. В 2-х томах. Т.ІІ. Класичні крайові задачі: Навч. посібник [для студ. вищ. навч. закл. Електронний ресурс] / К.М. Рудаков – Київ: НТУУ "КПІ ім. Ігоря Сікорського", 2020. – 300 с.

3. Рудаков К.Н. FEMAP 10.2.0. Геометрическое и конечно-элементное моделирование конструкций / К.Н. Рудаков. К., 2011. 317 с. Електрон. аналог друк. вид. : URL: <http://mmi-dmm.kpi.ua/index.php/ua/vikladachi-kafedri/16-rudakov-kostyantyn-mikolajovich.html> (дата звернення: 14.08.2021).

4. Рудаков К.М. Чисельні методи аналізу в динаміці та міцності конструкцій: Навч. посібник / К.М. Рудаков. К.: НТУУ „КПІ”, 2007. 379 с.

5. Bathe Klaus-Jürgen. Finite Element Procedures. Second Edition – Prentice Hall, 2014. – 1043 p.

### *Допоміжна література*

6. Зенкевич О. Конечные элементы и аппроксимация / О. Зенкевич, К. Морган. М.: Мир, 1986. 318 с.

7. Парлетт Б. Симметричная проблема собственных значений. Численные методы / Пер. с англ. Х.Д. Икрамова, Ю.А. Кузнецова. – М.: Мир, 1983. – 384 с.

8. Zienkiewicz O.C., Taylor R.L. The Finite Element Method. Volume 1: The Basis. – Oxford: BH, 2000. – 689 p.

9. Zienkiewicz O.C., Taylor R.L. The Finite Element Method. Volume 2: Solid Mechanics. – Oxford: BH, 2000. – 459 p.

Електронні копії книг надаються лектором на початку вивчення дисципліни, а також знаходяться в базі даних ПЕОМ в ауд. 254-1.

## Навчальний контент

### 5. Методика опанування навчальної дисципліни (освітнього компонента)

#### *Кредитний модуль 1 (осінній семестр)*

Назви розділів і тем	Кількість годин					
	Разом	Лекції	Практичні	Комп'ютерний практикум	Інд. заняття	СРС
<b>Розділ 1. Вступ до числових методів</b>						
Тема 1.1. Наближені числа та обчислення. Похибки	12	4	-	4	-	4
Тема 1.2. Основи теорії операторних рівнянь і функціонального аналізу	8	3	-	-	-	5
Разом за розділом 1	20	7	-	4	-	9
<b>Розділ 2. Стаціонарні крайові задачі механіки деформівного твердого тіла</b>						
Тема 2.1. Загальні співвідношення механіки суцільних середовищ	2	1	-	-	-	1
Тема 2.2. Постановка крайових задач	4	2	-	-	-	2
Контрольна робота з розділів 1, 2	11	-	1	-	-	10
Разом за розділом 2	17	3	1	-	-	13
<b>Розділ 3. Методи розв'язування стаціонарних крайових задач</b>						
Тема 3.1. Поняття про алгебраїзацію крайових задач	1	0.5	-	-	-	0.5
Тема 3.2. Основні методи розв'язування стаціонарних крайових задач	10	3.5	-	2	-	4.5
Разом за розділом 3	11	4	-	2	-	5
<b>Розділ 4. Алгоритми методу скінченних різниць</b>						
Тема 4.1. Наближення стаціонарних крайових задач методом скінченних різниць	8	2	-	4	-	2
Разом за розділом 4	8	2	-	4	-	2

<b>Розділ 5. Основи методу скінченних елементів</b>						
Тема 5.1. Ідея проєкційного методу скінченних елементів (МСЕ)	2	1	-	-	-	1
Тема 5.2. Скінченні елементи	14	5	-	4	-	5
Разом за розділом 5	16	6	-	4	-	6
<b>Розділ 6. Алгоритми розв'язування стаціонарних крайових задач методом скінченних елементів</b>						
Тема 6.1. Просторове наближення крайової задачі теплопровідності за методом зважених похибок наближення та МСЕ	5	2	-	2	-	1
Тема 6.2. Скінченно-елементні алгоритми розрахунків стаціонарного теплового стану тіла	10	2	-	6	-	2
Тема 6.3. Алгоритми розрахунків стаціонарного напружено-деформованого стану в точці тіла	8	4	-	2	-	2
Тема 6.4. Загальні алгоритми розв'язування крайових задач термопружності й термопластичності за МСЕ	13	2	-	6	-	5
Контрольна робота з розділів 4, 5, 6	11	-	1	-	-	10
Разом за розділом 6	47	10	1	16		20
<b>Розділ 7. Алгебра скінченно-елементного наближення та систем лінійних алгебраїчних рівнянь</b>						
Тема 7.1. Алгебра скінченно-елементного наближення	8	2	-	2	-	4
Тема 7.2. Алгебра систем лінійних алгебраїчних рівнянь у МСЕ	8	2	-	2	-	4
Разом за розділом 7	16	4	-	4	-	8
Підготовка до іспиту	30	-	-	-	-	30
Всього годин	165	36	2	34	-	93

### Лекційні заняття

№	Теми лекційних занять та перелік основних питань	Кількість
1	<p><b>Вступ</b> Загальні міркування. Предмет та задачі курсу. Чисельний експеримент – інструмент пізнання.</p> <p><b>Тема 1.1. Наближені числа</b> Наближені числа. Погрішності. Основні джерела погрішностей. Різновиди погрішностей наближеного числа. Джерела погрішностей. Література: [1], Передмова, розділ 1.1. Конспект лекцій. Завдання на СРС: [1], підрозділи 1.1 – 1.3.</p>	2
2	<p>Форми запису наближених чисел. Значуща цифра. Вірні знаки. Округлення чисел. Оцінка погрішностей при елементарних обчисленнях. Загальні формули для погрішностей при обчисленнях функцій. Спосіб границь визначення погрішностей при обчисленнях функцій. Імовірна оцінка погрішностей. Оцінка погрішностей при обчисленнях на ЕОМ. Література: [1], підрозділи 1.1 – 1.3. Конспект лекцій. Завдання на СРС: [1], підрозділи 2.1 ... 2.4.</p>	2

3	<p><b>Тема 1.2. Основи теорії операторних рівнянь і функціонального аналізу</b> Лінійні векторні простори (Банахові, Ермітові, Гільбертові, Евклідові, Соболева). Властивість повноти простору. Лінійні оператори у дійсному гільбертовому просторі, їх властивості. Лінійні обмежені функціонали, функціональний простір, його властивості. Література: [1], підрозділи 2.1 ... 2.4. Конспект лекцій. Завдання на СРС: [1], підрозділи 2.5, 2.6.</p>	2
4	<p>Теореми наявності розв'язків, єдиності та о мінімізації лінійного функціоналу. Нелінійні обмежені функціонали, варіаційне рівняння Ейлера. Про наближений розв'язок операторних рівнянь. Література: [1], розділи 2.5, 2.6. Конспект лекцій. Завдання на СРС: [2], підрозділи 12.1 ... 12.4, 13.1.</p>	2
5	<p><b>Тема 2.1. Загальні співвідношення механіки суцільних середовищ</b> Системи координат. Кінематичні співвідношення. Деформації. Рівняння балансу. Визначальні співвідношення. Загальні консервативні (енергетичні) принципи. Аксиоми Нолла. Література: [2], підрозділи 12.1 ... 12.4. Конспект лекцій.</p>	1
6	<p><b>Тема 2.2. Постановка крайових задач</b> Постановка крайової задачі про стаціонарний тепловий стан тіл. Постановка крайових задач термopужності при статичному термосиловому навантаженні. Постановка крайових задач термopужнопластичності при статичному термосиловому навантаженні. Література: [2], підрозділи 13.2, 13.3. Конспект лекцій. Завдання на СРС: [2], розділ 14.</p>	2
7	<p><b>Тема 3.1. Поняття про алгебраїзацію крайових задач</b> Поняття про наближення (апроксимацію, алгебраїзацію) задачі. Література: [2], розділ 14. Конспект лекцій. Завдання на СРС: [2], підрозділ 17.1.</p>	1
8	<p><b>Тема 3.2. Основні методи розв'язування стаціонарних крайових задач</b> Ідеї основних методів алгебраїзації крайових задач за просторовими змінними: наближення розв'язків крайових задач лінійною комбінацією базисних векторів. R-функції Рвачева. Ідея методу найменших квадратів; методу Релея-Рітца; методу Бубнова-Гальоркіна; методу зважених похибок наближення; застосування універсальних варіаційних принципів; "прямі" методи. Література: [2], розділ 17.1. Конспект лекцій. Завдання на СРС: [2], розділ 15.</p>	2
9	<p><b>Тема 4.1. Наближення стаціонарних крайових задач методом скінченних різниць</b> Ідея методу скінченних різниць. Типи сіток. Сіткові функції. Різницеве наближення диференційних операторів: звичайних та з частинними похідними (класичні шаблони, точність різницевої апроксимації на них). Різницеве наближення основних крайових задач. Вимоги до різницевого розв'язку. Поняття про екстраполяцію за Ричардсоном. Переваги та недоліки методу скінченних різниць. Література: [2], розділ 15. Конспект лекцій. Завдання на СРС: [2], розділ 19, підрозділи 20.1, 20.2.</p>	2

10	<p><b>Тема 5.1. Ідея проєкційного методу скінченних елементів</b>  Ідея методу скінченних елементів: елементарні локально визначені базисні функції; побудова системи алгебраїчних рівнянь для наближення функції методом скінченних елементів; про побудову системи алгебраїчних рівнянь для розв'язування стаціонарних крайових задач методом скінченних елементів. Переваги та недоліки методу скінченних елементів.</p> <p><b>Тема 5.2. Скінченні елементи</b>  Основні поняття, визначення. Симплексні моделі СЕ в евклідовому просторі: поняття симплексу; одновимірна симплексна модель СЕ; двовимірна симплексна модель СЕ; тривимірна симплексна модель СЕ.  Література: [2], розділ 19, підрозділи 20.1, 20.2. Конспект лекцій.  Завдання на СРС: [2], підрозділи 20.3 – 20.5.</p>	2
11	<p>Комплексні та мультиплексні моделі СЕ в евклідовому просторі. Параметричні моделі СЕ в евклідовому просторі: параметричні інтерполяційні функції одновимірних СЕ.  Параметричні моделі СЕ в евклідовому просторі: параметричні інтерполяційні функції для дво– та тривимірних СЕ лагранжевого сімейства; параметричні інтерполяційні функції для дво– та тривимірних СЕ серендіпового сімейства. Ієрархічний підхід. Про похідні моделі СЕ.  Література: [2], підрозділи 20.3 – 20.5. Конспект лекцій.  данья на СРС: [2], підрозділи 20.6 ... 20.8.</p>	2
12	<p>СЕ з ермітовими поліномами для базисних функцій. Критерії збіжності при розв'язуванні методом скінченних елементів крайових задач, що мають диференційні оператори. Заключні зауваження.  Література: [2], підрозділи 20.6 ... 20.8. Конспект лекцій.  Завдання на СРС: [2], підрозділи 17.3.1, 21.1, 21.2.</p>	2
13	<p><b>Тема 6.1. Просторове наближення крайової задачі теплопровідності за методом зважених похибок наближення та МСЕ</b>  Послаблена форма методу зважених похибок наближення для задачі теплопровідності.</p> <p><b>Тема 6.2. Скінченно-елементні алгоритми розрахунків стаціонарного теплового стану тіла</b>  Просторова алгебраїзація стаціонарної задачі теплопровідності на основі МСЕ. Алгоритми розв'язування нелінійної САР крайової задачі стаціонарної теплопровідності: алгоритм Ньютона-Рафсона; алгоритм простих ітерацій.  Література: [2], підрозділи 17.3.1, 21.1, 21.2. Конспект лекцій.  Завдання на СРС: [2], підрозділи 22.1, 22.2.</p>	2
14	<p><b>Тема 6.3. Алгоритми розрахунків стаціонарного напружено-деформованого стану в точці тіла</b>  Матричний запис тензорних і векторних величин у МСЕ. Основні формули обчислення вектору напружень у точці тіла, задача є поставленою відносно переміщень; задача термопружності; урахування закону пружної зміни об'єму матеріалу.  Література: [2], підрозділи 22.1, 22.2. Конспект лекцій.  Завдання на СРС: [2], підрозділи 22.3.</p>	2

15	<p>Побудовані на основі теорії пластичності Прандтля-Рейса алгоритми термопластичності ізотропного матеріалу з ізотропним зміцненням: застосування "миттєвої термомеханічної поверхні", вираженої через "стиснені" деформації; застосування „миттєвої термомеханічної поверхні”, вираженої через параметр Одквіста; приклад функції <math>H(\chi, T, \sigma_V)</math>; умови активного навантаження, пружності, розвантаження.</p> <p>Література: [2], розділ 22.3. Конспект лекцій.</p> <p>Завдання на СРС: [2], підрозділи 23.1, 23.2.3.</p>	2
16	<p><b>Тема 6.4. Загальні алгоритми розв'язування крайових задач термопружності й термопластичності за МСЕ</b></p> <p>Отримання САР при розв'язуванні крайової задачі термопружності методом додаткових навантажень.</p> <p>Алгоритм розв'язування крайової задачі термопружності й термопластичності на основі методу додаткових навантажень: алгоритм Ньютона-Рафсона розв'язування нелінійних САР.</p> <p>Література: [2], підрозділи 23.1, 23.2.3. Конспект лекцій.</p> <p>Завдання на СРС: [2], підрозділи 24.1, 24.2.</p>	2
17	<p><b>Тема 7.1. Алгебра скінченно-елементного наближення</b></p> <p>Відображення в МСЕ. Матриці базисних функцій і диференціювання у СЕ.</p> <p>Література: [2], підрозділи 24.1, 24.2. Конспект лекцій.</p> <p>Завдання на СРС: [2], підрозділи 24.3 – 24.5, 24.7.</p>	2
18	<p>Підінтегральні функції в СЕ, їхні властивості. Інтегрування у СЕ: точне та чисельне.</p> <p>Література: [2], підрозділи 24.3 – 24.5.</p> <p><b>Тема 7.2. Алгебра систем лінійних алгебраїчних рівнянь у МСЕ</b></p> <p>Введення граничних умов у САР, яка породжена МСЕ: введення силових граничних умов; введення кінематичних граничних умов.</p> <p>Література: [2], підрозділ 24.7. Конспект лекцій.</p> <p>Заключне слово.</p> <p>Завдання на СРС: підготовка до екзамену.</p>	2

### Кредитний модуль 2 (весняний семестр)

Назви розділів і тем	Кількість годин					
	Разом	Лекції	Практичні	Комп'ютерний практикум	Інд. заняття	СРС
<b>Розділ 1. Алгоритми розв'язування нестационарної крайової задачі теплопровідності методом скінченних елементів</b>						
Тема 1.1. Просторово-часове наближення нестационарної крайової задачі теплопровідності методом скінченних елементів. Вагова двошарова схема	6	2	-	2	-	2
Тема 1.2. Класичні та сучасні двошарові схеми, їхні властивості	16	8	-	4	-	4
Тема 1.3. Схеми з факторизованими операторами	4	2	-	1	-	1
Разом за розділом 1	26	12	-	7	-	7
<b>Розділ 2. Алгоритми розв'язування крайових</b>						



<b>задач термоповзучості методом скінченних елементів</b>						
Тема 2.1. Постановка крайової задачі термоповзучості	5	1	-	2	-	2
Тема 2.2. Скінченно-елементні алгоритми розрахунку напружено-деформованого стану при термоповзучості	11	3	-	4	-	4
Разом за розділом 2	16	4	-	6	-	6
<b>Розділ 3. Алгоритми розв'язування динамічних крайових задач методом скінченних елементів</b>						
Тема 3.1. Постановка динамічних крайових задач термопружності	5	2	-	2	-	1
Тема 3.2. Скінченно-елементне наближення динамічних крайових задач термопружності	5	2	-	2	-	1
Тема 3.3. "Прямі" схеми та методи розв'язування динамічних крайових задач термопружності	16	6	-	6	-	4
Тема 3.4. Економічні схеми з факторизованими операторами	8	2	-	2	-	4
Тема 3.5. Задача про власні частоти та форми коливань	8	2	-	4	-	2
Тема 3.6. Розв'язування динамічних крайових задач за методом суперпозиції мод. Передаточні функції АЧХ	12	2	-	6	-	4
Тема 3.7. Розв'язування динамічних крайових задач про стохастичне збудження пружного тіла	16	4	-	8	-	4
Разом за розділом 3	70	20	-	30	-	20
Підготовка до заліку	6	-	-	-	-	6
Проведення заліку	2	-	-	2	-	-
Всього годин	120	36	-	45	-	39

### Лекційні заняття

№	Теми лекційних занять та перелік основних питань	Кількість
1	Тема 1.1. Просторово-часове наближення нестационарної крайової задачі теплопровідності методом скінченних елементів. Вагова двошарова схема Література: [2], підрозділи 17.3.1, 21.1, 21.3. Конспект лекцій. Завдання на СРС: [2], підрозділи 21.3 – 21.5.	2
2	Тема 1.2. Класичні та сучасні двошарові схеми, їхні властивості Література: [2], підрозділи 21.3 – 21.5. Конспект лекцій. Завдання на СРС: [2], підрозділ 18.2.3.	8
3	Тема 1.3. Схеми з факторизованими операторами Література: [2], підрозділ 18.2.3. Конспект лекцій. Завдання на СРС: [2], підрозділ 13.4.	2
4	Тема 2.1. Постановка крайової задачі термоповзучості Література: [2], підрозділ 13.4. Конспект лекцій. Завдання на СРС: [2], підрозділи 22.4, 22.5.	1
5	Тема 2.2. Скінченно-елементні алгоритми розрахунку напружено-деформованого стану при термоповзучості Література: [2], підрозділи 22.4, 22.5. Конспект лекцій. Завдання на СРС: [2], підрозділ 13.5.	3

6	Тема 3.1. Постановка динамічних крайових задач термопружності Література: [2], підрозділ 13.5. Конспект лекцій. Завдання на СРС: [2], підрозділ 25.1.	2
7	Тема 3.2. Скінченно-елементне наближення динамічних крайових задач термопружності Література: [2], підрозділ 25.1. Конспект лекцій. Завдання на СРС: [2], підрозділи 25.2.1 - 25.2.6.	2
8	Тема 3.3. "Прямі" схеми та методи розв'язування динамічних крайових задач термопружності Література: [2], підрозділи 25.2.1 - 25.2.6. Конспект лекцій. Завдання на СРС: [2], підрозділ 25.2.7.	6
9	Тема 3.4. Економічні схеми з факторизованими операторами Література: [2], підрозділ 25.2.7. Конспект лекцій. Завдання на СРС: [2], підрозділ 25.3.	2
10	Тема 3.5. Задача про власні частоти та форми коливань Література: [2], підрозділ 25.3. Конспект лекцій. Завдання на СРС: [2], підрозділ 25.4.	2
11	Тема 3.6. Розв'язування динамічних крайових задач за методом суперпозиції мод. Передаточні функції АЧХ Література: [2], підрозділ 25.4. Конспект лекцій. Завдання на СРС: [2], підрозділ 25.5.	2
12	Тема 3.7. Розв'язування динамічних крайових задач про стохастичне збудження пружного тіла Література: [2], підрозділ 25.5. Конспект лекцій. Завдання на СРС: підготовка до заліку.	4

**Методика вивчення курсу:** прослуховування лекцій; підготовка необхідного теоретичного матеріалу до занять з комп'ютерного практикуму; виконання робіт з комп'ютерного практикуму; самостійна робота з літературою; підготовка до календарних контрольних робіт; виконання календарних контрольних робіт.

На роботи з комп'ютерного практикуму кожному студенту видається завдання в друкованому та/або електронному вигляді.

Індивідуальні консультації проводяться щотижня за розписом на кафедральному сайті <http://mmi-dmm.kpi.ua>.

**Платформа дистанційного навчання:**

Для більш ефективної комунікації з метою розуміння структури навчальної дисципліни і засвоєння матеріалу, а також на період локдауну внаслідок пандемії, використовується електронна пошта, електронний кампус КПІ, система Moodle та сервіс для проведення онлайн-нарад Zoom, Skype, Google Meet або інших, за допомогою яких:

- проводяться лекційні або інші заняття;
- спрощується розміщення та обмін навчальним матеріалом;
- здійснюється надання зворотного зв'язку зі студентами стосовно навчальних завдань та змісту навчальної дисципліни;
- оцінюються навчальні завдання студентів;
- ведеться облік виконання студентами плану навчальної дисципліни, графіку виконання навчальних завдань та їх оцінювання.

Докладні відомості – в установчих документах організації дистанційного навчання в КПІ ім. Ігоря Сікорського:

- Положення про дистанційне навчання в КПІ ім. Ігоря Сікорського  
[https://document.kpi.ua/2020\\_7-73](https://document.kpi.ua/2020_7-73);
- Регламент проведення семестрового контролю в дистанційному режимі  
<https://osvita.kpi.ua/sites/default/files/downloads/Reglament%20semestr%20control.pdf>.

## 6. Самостійна робота студента

Самостійна робота студента передбачає підготовку до занять з комп'ютерного практикуму: попереднє ознайомлення із матеріалами за темою заняття, викладеними у джерелах літератури, та закріплення результатів заняття шляхом проведення числових розрахунків, розглянутих на занятті постановок задач при варіюванні вихідних параметрів (розмірів конструкції, її жорсткісних параметрів, величин і характеру прикладених навантажень) згідно із наданими викладачем рекомендацій. Для розглянутих прикладів розв'язання задач передбачається опитування щодо основних результатів та пояснення механічних ефектів, які спостерігаються при зміненні вихідних даних.

## Політика та контроль

### 7. Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

#### *Правила відвідування занять*

Відвідування лекцій та практичних занять, а також відсутність на них, не оцінюється. Однак, студентам рекомендується відвідувати заняття, оскільки на них викладається теоретичний матеріал та при виконання завдань з комп'ютерного практикуму розвиваються навички, необхідні для виконання в майбутньому курсової роботи та розрахунків реальних об'єктів, календарних контрольних робіт та складання екзамену.

Система оцінювання орієнтована на отримання балів за своєчасність виконання студентами практичних робіт, а також виконання завдань, які здатні розвинути практичні уміння та навички.

#### *Правила поведінки на заняттях*

При виконанні робіт комп'ютерного практикуму дозволяється використання засобів зв'язку для пошуку інформації в інтернеті.

#### *Правила захисту робіт комп'ютерного практикуму*

Кожна виконана робота комп'ютерного практикуму для докладної перевірки пересилається викладачу на його електронну пошту у термін, призначений викладачем. Вірно виконана робота зараховується як прийнята, про що студенту повідомляється у зручний спосіб, зокрема й за вимогою.

#### *Порушення термінів виконання завдань та заохочувальні бали*

Заохочувальні бали		Штрафні бали	
Критерій	Ваговий бал	Критерій	Ваговий бал
Своєчасне виконання завдання комп'ютерного практикуму (за кожне завдання)	+ 2 бали	Порушення термінів виконання роботи (за кожне завдання)	- 1 бал
		Несвоєчасне написання календарної контрольної роботи (на запланованому занятті, осінній семестр)	- 3 бали

### **Пропущені контрольні заходи**

Завдання комп'ютерного практикуму, яке подається на перевірку з порушенням терміну виконання, але до терміну виставлення поточної атестації (або екзамену), оцінюється зі штрафними балами.

Завдання комп'ютерного практикуму, яке подається на перевірку з порушенням терміну виконання та після терміну виставлення поточної атестації, не оцінюється.

### **Академічна доброчесність**

Політика та принципи академічної доброчесності визначені у розділі 3 Кодексу честі Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського». Детальніше: <https://kpi.ua/code>.

### **Норми етичної поведінки**

Норми етичної поведінки студентів і працівників визначені у розділі 2 Кодексу честі Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського». Детальніше: <https://kpi.ua/code>.

### **Навчання іноземною мовою**

Навчальна дисципліна «Числові методи динаміки і міцності машин» не передбачає її вивчення англійською мовою.

### **Інклюзивне навчання**

Навчальна дисципліна «Числові методи динаміки і міцності машин» може викладатися для більшості студентів з особливими освітніми потребами, окрім осіб з серйозними вадами зору, які не дозволяють виконувати завдання за допомогою персональних комп'ютерів, ноутбуків та/або інших технічних засобів.

## **8. Види контролю та рейтингова система оцінювання результатів навчання (PCO)**

*Поточний контроль: експрес-опитування, опитування за темою заняття, тест тощо.*

*Календарний контроль (атестація): проводиться двічі на семестр як моніторинг поточного стану виконання вимог силабусу.*

*Семестровий контроль: екзамен, залік.*

### **Види контролю та бали за кожен елемент контролю:**

#### *Кредитний модуль 1 (осінній семестр)*

№ з/п	Контрольний захід	%	Ваговий бал	Кіл-ть	Всього
1.	Роботи комп'ютерного практикуму	36	6	6	36
2.	Календарна контрольна робота №1	12	12	1	12
3.	Календарна контрольна робота №2	12	12	1	12
4.	Екзамен	40	40	1	40
Всього					100

*Кредитний модуль 2 (весняний семестр)*

№ з/п	Контрольний захід	%	Ваговий бал	Кіл-ть	Всього
1.	Роботи комп'ютерного практикуму	36	6	8	48
3.	Залік	52	52	1	52
Всього					100

**Контрольний захід (поточна контрольна робота, екзамен, залік), оцінювання дистанційного навчання**

*1. Контрольний захід*

*Кредитний модуль 1 (осінній семестр)*

№ з/п	Контрольний захід	%	Ваговий бал	Кіл-ть	Всього
1.	Відповідь правильна (не менше 90% потрібної інформації)	90	30	3	від 90
2.	Несуттєві помилки у відповіді (не менше 75% потрібної інформації)	75	25	3	від 75
3.	Є недоліки у відповіді та певні помилки (не менше 60% потрібної інформації)	60	20	3	від 60
4.	Відповідь на тестове запитання з варіантами відповідей	10	10	1	від 10
5.	Відповідь відсутня або не правильна	0	0	3	0
Максимальна кількість балів					100
Отримана кількість балів					N
Набрана кількість балів для поточного та семестрового оцінювання					N*k

Значення коефіцієнта k:

- календарна контрольна робота

$k=0.12$ ;

- екзамен

$k=0.40$ .

*Кредитний модуль 2 (весняний семестр)*

№ з/п	Контрольний захід: залік	%	Ваговий бал	Кіл-ть	Всього
1.	Відповідь правильна (не менше 90% потрібної інформації)	90	30	3	від 90
2.	Несуттєві помилки у відповіді (не менше 75% потрібної інформації)	75	25	3	від 75
3.	Є недоліки у відповіді та певні помилки (не менше 60% потрібної інформації)	60	20	3	від 60
4.	Відповідь на тестове запитання з варіантами відповідей	10	10	1	від 10
5.	Відповідь відсутня або не правильна	0	0	3	0
Максимальна кількість балів					100
Отримана кількість балів					N
Набрана кількість балів для семестрового оцінювання					N*0.52

Результати оголошуються кожному студенту окремо у присутності або в дистанційній формі (у системі Moodle або е-поштою).

## 2. Дистанційне навчання

Виставлення оцінки за дистанційне навчання шляхом перенесення результатів проходження онлайн-курсів у системі Moodle передбачено лише для контрольних запитань і результатів тестування за виконання індивідуального завдання.

Виставлення оцінки за контрольні заходи (роботи комп'ютерного практикуму, поточні контрольні роботи) шляхом перенесення результатів проходження онлайн-курсів не передбачено.

№ з/п	Дистанційне навчання	%	Ваговий бал	Кіл-ть	Всього
1.	Відповідь на контрольні запитання в онлайн-системі Webex або Zoom	40	10	4	40
2.	Відповідь на тести у системі Moodle	50	10	5	50
3.	Вчасність проходження дистанційного навчання	10	10	1	10
Всього					100

У разі виявлення академічної не добросовісності під час дистанційного навчання – контрольний захід не враховується, студент до захисту не допускається.

## Календарний рубіжний контроль

Проміжна атестація студентів (далі – атестація) є календарним рубіжним контролем. Метою проведення атестації є підвищення якості навчання студентів та моніторинг виконання графіка освітнього процесу.

### Кредитний модуль 1 (осінній семестр)

Критерій		Перша атестація	Друга атестація	
Термін атестації		8-ий тиждень	14-ий тиждень	
Умови отримання атестації	Поточний рейтинг	≥ 15 балів	≥ 30 балів	
	Виконання робіт комп'ютерного практикуму	Роботи № 1-3	+	+
		Роботи №4-6	—	+
Виконання календарної контрольної роботи	Календарна контрольна робота	+	+	

### Кредитний модуль 2 (весняний семестр)

Оскільки весняний семестр містить всього 9 тижнів, то атестація не передбачена.

## Семестровий контроль

### Кредитний модуль 1 (осінній семестр)

Обов'язкова умова допуску до екзамену		Критерій
1	Поточний рейтинг	RD $\geq$ 40

### Кредитний модуль 2 (весняний семестр)

Обов'язкова умова допуску до заліку		Критерій
1	Поточний рейтинг	RD $\geq$ 40

### Умови допуску до семестрового контролю:

#### Кредитний модуль 1 (осінній семестр)

1. Виконання всіх робіт комп'ютерного практикуму;
2. Позитивний результат першої атестації та/або другої атестації;
3. Відвідування 60% лекційних занять.

#### Кредитний модуль 2 (весняний семестр)

1. Виконання всіх робіт комп'ютерного практикуму;
2. Відвідування 60% лекційних занять.

Таблиця відповідності рейтингових балів оцінкам за університетською шкалою:

Кількість балів	Оцінка
100-95	Відмінно
94-85	Дуже добре
84-75	Добре
74-65	Задовільно
64-60	Достатньо
Менше 60	Незадовільно
Не виконані умови допуску	Не допущено

## 9. Додаткова інформація з дисципліни (освітнього компонента)

- *перелік питань, які виносяться на семестровий контроль:* надається лектором наприкінці семестру, відповідає змісту реально проведених занять.
- *можливість зарахування сертифікатів проходження дистанційних чи онлайн курсів за відповідною тематикою:* можливо у випадку відповідності змісту цих курсів програмі дисципліни не менш ніж на 80 відсотків.

### Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):

**Складено** професор, д.т.н., проф. Рудаков К.М.; ст. викладач, к.т.н. Дифучин Ю.М.

**Ухвалено** кафедрою ДММіОМ (протокол № \_\_\_ від \_\_\_\_\_)

**Погоджено** Методичною комісією механіко-машинобудівного інституту (протокол № \_\_\_ від \_\_\_\_\_)