



# Курсова робота з навчальної дисципліни ЧИСЛОВІ І АНАЛІТИЧНІ МЕТОДИ АНАЛІЗУ ДИНАМІКИ І МІЦНОСТІ МАШИН ТА СТІЙКОСТІ РУХУ

## Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

### Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	<i>Другий (магістерський)</i>
Галузь знань	<i>13. Механічна інженерія</i>
Спеціальність	<i>131. Прикладна механіка</i>
Освітня програма	<i>Динаміка і міцність машин</i>
Статус дисципліни	<i>Вибіркова</i>
Форма навчання	<i>Очна (денна)</i>
Рік підготовки, семестр	<i>1 курс, осінній семестр</i>
Обсяг дисципліни	<i>1.0 кредит (30 годин)</i>
Семестровий контроль/ контрольні заходи	<i>Залік</i>
Розклад занять	
Мова викладання	<i>Українська</i>
Інформація про керівника курсу / викладачів	<i>Лектор: д.т.н., проф. Рудаков Костянтин Миколайович, knrudakov@ukr.net</i>
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.

*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, придатному 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 та стійкість, 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** курсової роботи навчальної дисципліни "Числові і аналітичні методи аналізу динаміки і міцності машин та стійкості руху" є закріплення у студентів систематизованих знань щодо методів та алгоритмів для наближеного розв’язування крайових задач динаміки, міцності та стійкості руху машин й елементів конструкції із застосуванням ЕОМ.

**Предметом** цієї навчальної дисципліни є визначені характеристики теплового та напружено-деформованого стану елемента конструкції при його термосиловому навантаженні, а також власні форми та частоти коливань, отримані із застосуванням ефективних методів розв’язування відповідних крайових задач.

Студенти при виконанні курсової роботи мають продемонструвати такі результати навчання з цієї дисципліни:

– **знання** про

- теоретичні основи (формалізацію) характерних проблем механіки деформівного твердого тіла;
- узагальнені постановки відповідних крайових задач механіки деформівного твердого тіла;
- чисельні методи та алгоритми розв’язування актуальних крайових задач механіки деформівного твердого тіла із застосуванням ПЕОМ;
- наявні програми, що забезпечують розв’язування актуальних крайових задач механіки деформівного твердого тіла із застосуванням ПЕОМ.

– **уміння**

- ставити крайові задачі;
- обирати або розробляти ефективні числові алгоритми розв’язування поставлених задач із застосуванням ПЕОМ;
- користуватися наявними програми, що забезпечують розв’язування поставлених крайових задач;
- аналізувати отримані результати та робити висновки;
- документувати отримані результати у вигляді звіту.

– **досвід** у виконанні типової роботи фахівця з динаміки та міцності машин: проведення розрахунків на ПЕОМ елементів конструкцій та машин з наступним аналізом й документуванням отриманих результатів.

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

Дисципліна "Числові і аналітичні методи аналізу динаміки і міцності машин та стійкості руху" 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", "Числові методи динаміки і міцності машин".

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

### 3. Зміст навчальної дисципліни

Зміст навчальної дисципліни відображений у відповідному силабусі.

### 4. Навчальні матеріали та ресурси

#### Базова література

1. Василенко М.В., Алексейчук О.М. Теорія коливань і стійкості руху: Підручник. – К.: Вища шк., 2004. – 525 с.
2. Рудаков К.М. Чисельні методи аналізу в динаміці та міцності конструкцій. Моделювання геометрично і фізично нелінійних процесів деформування. Стійкість руху: Лекції. – К.: НТУУ "КПІ", 2020. – 120 с.
3. Методичні вказівки до виконання курсової роботи з дисципліни "Числові методи динаміки та міцності машин" для студентів спеціальності "131 Прикладна механіка" спеціалізації "Динаміка і міцність машин" / Нац. техн. ун-т України "КПІ ім. Ігоря Сікорського" : укл.: К.М. Рудаков. К. : НТУУ "КПІ ім. Ігоря Сікорського", 2016. 30 с.
4. 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.
5. 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/vkladachi-kafedri/16-rudakov-kostyantyn-mikolajovich.html> (дата звернення: 14.08.2021).

#### Допоміжна література

6. Коробейников С.Н. Нелинейное деформирование твердых тел. – Новосибирск: СО РАН, 2000. – 261 с.
  7. Зенкевич О. Конечные элементы и аппроксимация / О. Зенкевич, К. Морган. М.: Мир, 1986. 318 с.
  8. Рудаков К.М. Чисельні методи аналізу в динаміці та міцності конструкцій: Навч. посібник / К.М. Рудаков. К.: НТУУ „КПІ”, 2007. 379 с.
  9. 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.
  10. Bathe Klaus-Jürgen. Finite Element Procedures. Second Edition – Prentice Hall, 2014. – 1043 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)

Назви розділів і тем	Кількість годин					
	Разом	Лекції	Практичні	Комп'ютерний практикум	Інд. заняття	СРС
Підготовка курсової роботи до захисту	30	-	-	-	-	30
Проведення захисту курсової роботи	-	-	-	-	-	-
Всього годин	30	-	-	-	-	30

Завдання на курсову роботу видається індивідуально у вигляді завізованого лектором аркуша зі всіма вихідними даними. Приклад завдання наведений у у методичних вказівках до виконання курсової роботи з дисципліни. Цей аркуш завдання вшивається другим аркушем після титульного і є обов'язковою частиною пояснювальної записки.

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

### Методика виконання курсової роботи

№	Тиждень семестру	Назва етапу роботи	Навчальний час	
			Ауд.	СРС
1	1-2	Отримання теми та завдання	-	-
2	3-4	Підбор та вивчення літератури	-	4
3	5-7	Створення розрахункових схем, геометричної та скінченно-елементних моделей об'єктів розрахунків	-	4
4	8-9	Проведення всіх розрахунків на ПЕОМ	-	6
5	10-12	Аналіз результатів розрахунків на їх збіжність. При необхідності – переробка скінченно-елементних моделей та проведення нових розрахунків	-	6
6	13-14	Оформлення теоретичної частини курсової роботи: постановки крайових задач, описування методів їх розв'язування	-	4
7	14-15	Оформлення курсової роботи у вигляді записки, з наведенням необхідних теоретичних відомостей, таблиць, графіків та рисунків з результатами розрахунків	-	6
8	16	Подання курсової роботи на перевірку	-	-
9	17	Захист курсової роботи	-	-

### Перелік можливих тем курсових робіт

Чисельне моделювання одновимірного теплового та термопружнопластичного стану стержневих систем різної конфігурації з різними умовами закріплення та навантаження.

Чисельне моделювання двовимірного теплового та термопружнопластичного стану пластин різного профілю з різними умовами закріплення та навантаження.

Чисельне моделювання тривимірного теплового та термопружнопластичного стану випробувальних зразків (різної геометрії, зокрема, з концентраторами напружень) для вивчення механічних характеристик матеріалу.

Чисельне моделювання тривимірного теплового та термопружнопластичного стану елементів конструкцій (різної геометрії та призначення) під впливом зовнішніх термосилових навантажень.

Чисельне моделювання кінетики тривимірного теплового та напружено-деформованого стану елементів конструкцій (різної геометрії та призначення) під впливом зовнішніх термосилових навантажень.

Чисельне моделювання контактних крайових задач термопружності.

Чисельне моделювання динамічного навантаження пружних тіл при різних умовах закріплення та навантаження.

Чисельне знаходження власних частот пружних тіл при різних умовах закріплення.

### 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 консультації або інші заняття;
- спрощується розміщення та обмін навчальним матеріалом;
- здійснюється надання зворотного зв'язку зі студентами стосовно навчальних завдань 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

Курсова робота з дисципліни виконується як самостійна робота.

## Політика та контроль

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

#### *Правила відвідування занять та поведінки на заняттях*

Проведення будь-яких аудиторних занять при виконанні курсової роботи з дисципліни не передбачається.

#### *Правила захисту курсової роботи*

Виконана курсова робота для докладної перевірки пересилається викладачу на його електронну пошту у термін, призначений викладачем. Вірно виконана та захищена курсова робота зараховується як прийнята, про що студенту повідомляється у зручний спосіб, зокрема й за вимогою.

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

Система оцінювання орієнтована на отримання додаткових балів за своєчасність виконання студентам завдань, які здатні розвинути практичні уміння та навички.

Заохочувальні бали		Штрафні бали	
Критерій	Ваговий бал	Критерій	Ваговий бал
Дотримання термінів виконання курсової роботи (за кожний етап)	+ 2 бали	Порушення термінів виконання курсової роботи (за кожний етап)	- 1 бал

#### *Пропущені контрольні заходи*

Завдання, яке подається на перевірку з порушенням терміну виконання, але до терміну виставлення поточної атестації (або захисту), оцінюється зі штрафними балами.

Завдання, 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 і аналітичні методи аналізу динаміки і міцності машин та стійкості руху» не передбачає її вивчення англійською мовою, тому й курсова робота не може бути представлена англійською мовою.

### Інклюзивне навчання

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

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

Поточний контроль: *опитування за графіком виконання, візуальна перевірка, інше.*

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

Семестровий контроль: *залік.*

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

№ з/п	Контрольний захід	%	Ваговий бал	Кіл-ть	Всього
1.	Стартова складова	50	50	1	50
2.	Захист	50	59	1	50
Всього					100

### Стартова складова:

1. Своєчасність виконання графіка роботи;
2. Якість реалізованих розрахункових схем, геометричної та скінченно-елементних моделей об'єкта розрахунків;
3. Правильність застосування методів аналізу і розрахунку, наявність доказів досягнення збіжності розрахунків;
4. Якість теоретичної та розрахункової частини пояснювальної записки;
5. Якість графічного матеріалу і дотримання вимог стандартів.

### Складова захисту курсової роботи:

1. Якість доповіді;
2. Ступінь володіння матеріалом;
3. Ступінь обґрунтування прийнятих рішень;
4. Вміння захищати свою думку.

## Контрольний захід, оцінювання дистанційного навчання

### 1. Контрольний захід

№ з/п	Контрольний захід	%	Ваговий бал	Кіл-ть	Всього
1.	Виконання є вірним (не менше 90% потрібної інформації)	90	30	3	від 90

2.	Несуттєві помилки (не менше 75% потрібної інформації)	75	25	3	від 75
3.	Є недоліки та певні помилки (не менше 60% потрібної інформації)	60	20	3	від 60
4.	Є неоднозначності	10	10	1	від 10
5.	Виконання відсутнє або не вірне	0	0	3	0
Максимальна кількість балів					100
Отримана кількість балів					N
Набрана кількість балів для семестрового оцінювання					N*k

Значення вагового коефіцієнта k:

- П.1 стартової складової	$k=0.05;$
- П.2	$k=0.12;$
- П.3	$k=0.18;$
- П.4.	$k=0.09;$
- П.5	$k=0.06;$
- П.1 складової захисту	$k=0.10;$
- П.2	$k=0.15;$
- П.3	$k=0.15;$
- П.4	$k=0.10.$

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 доброчесності 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.

Критерій		Перша атестація	Друга атестація
Термін атестації		8-ий тиждень	14-ий тиждень
Умови отримання атестації	Поточний рейтинг	≥ 25 балів	≥ 40 балів
	Виконання етапів	етапи № 1-3	+
		етапи № 4-6	–

### Семестровий контроль: залік

Обов'язкова умова допуску до заліку		Критерій
1	Поточний рейтинг	RD ≥ 40

### Умови допуску до семестрового контролю:

1. Виконання всіх розрахунків;
2. Наявність оформленої записки з курсової роботи.

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)

- *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, зокрема й змісту курсової роботи.

### 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 \_\_\_\_\_)



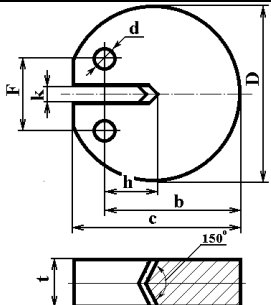
## КУРСОВА РОБОТА

3 ЧИСЛОВИХ І АНАЛІТИЧНИХ МЕТОДІВ АНАЛІЗУ  
ДИНАМІКИ І МІЦНОСТІ МАШИН ТА СТІЙКОСТІ РУХУ

Студент(ка) : \_\_\_\_\_, група МП-\_\_\_\_\_, Варіант № \_\_\_\_\_

Тема: "Дослідження температурного й напружено-деформованого стану, власних частот і форм коливань дискового зразка для випробувань на позацентрове розтягання"

**Вихідні дані:**- **об'єкт:** дисковий зразок для випробувань на позацентрове розтягання

	характерний розмір $b$ , мм	104
	діаметр зразка $D = 1.33b$	
	товщина зразка $t = 0.5b$	
	довжина зразка $c = 1.25b$	
	діаметр отворів $d = 0.25b$	
	відстань між отворами $F = 0.55b$	
	довжина прорізу $h = 0.4b$	
ширина прорізу $k = 0.06b$		

- **властивості матеріалу**

Теплофізичні		Механічні	
коєф. теплопровідності, Вт/(мК)	45.2	модуль Юнга, МПа	$2.03 \cdot 10^5$
коєф. лінійного температурного подовження, 1/К	$1.16 \cdot 10^{-5}$	коєф. Пуассона	0.33
		густина матеріалу, г/см <sup>3</sup>	7.78
		границя плинності, МПа	980

- **умови термосилового навантаження**

початкова температура, К	293	сила, що розтягує зразок (прикладена вертикально в отворах за допомогою осей), КН	50.0
температура поверхні в отворах, К	313		
температура навколишнього середовища, К	433		
коєф. тепловіддачі, Вт/(м <sup>2</sup> К)	18700		

**Додаткові умови:**

- використовувати метод скінченних елементів: пакети програм, наявні в ЛОТ №2 MMI (ауд. 254-1);
- використати властивості симетрії задач;
- розв'язки одержати на двох тривимірних скінченно-елементних сітках, що відрізняються в околі концентратора напружень одна від другої вузловим кроком приблизно удвічі, або застосувати SE 1-го і 2-го порядку апроксимації (тобто використати два варіанти сітки SE). Якщо розв'язки відрізняються більш ніж на 5 відсотків, сітку згустити;
- окремо оцінити рівень напружень від температурного впливу;
- провести частотний аналіз (знайти 20 перших власних частот і форм коливань);
- отримані на двох варіантах сіток розв'язки в околі концентратора напружень порівняти по кожній компоненті (температура, напруження, переміщення), для чого побудувати графіки та таблиці. Визначити коефіцієнт концентрації напружень за  $\sigma_{Mises}$  та  $\sigma_{max}$  в перехідному перетині зразка;
- роботу оформити у стандартний спосіб, тобто у вигляді пояснювальної записки, що містить всі необхідні компоненти: вступ, постановка крайових задач і методи їх розв'язування (теорія), розрахункові схеми, результати розрахунків та їх аналіз, висновки, література, а також необхідні таблиці, графіки і рисунки (зображення з результатами – тільки копії з екрана монітора).

Даний аркуш завдання вшивається другим аркушем після титульного і є обов'язковою частиною пояснювальної записки.

Керівник

Рудаков К.М.