

Міністерство освіти і науки України  
Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського  
«Харківський авіаційний інститут»

Кафедра теоретичної механіки, машинознавства та роботомеханічних систем  
(№ 202)

**ЗАТВЕРДЖУЮ**  
Гарант освітньої програми



О. О. Баранов

(підпис)

(ініціали та прізвище)

«30» 08 2024 р.

**РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ**

**Динаміка механічних систем**

(назва навчальної дисципліни)

**Галузь знань:**

**13 «Механічна інженерія»**

(шифр і найменування галузі знань)

**Спеціальність:**

**131 «Прикладна механіка»**

(код та найменування спеціальності)

**Освітня програма: «Роботомеханічні системи та комплекси**

(найменування освітньої програми)

**Форма навчання: денна**

**Рівень вищої освіти: другий (магістерський)**

**Харків 2024 рік**

Розробник: Нарижний О.Г., доцент, к.т.н., доцент  
(прізвище та ініціали, посада, науковий ступінь та вчене звання)

  
(підпис)

Робочу програму розглянуто на засіданні кафедри теоретичної механіки,  
машинознавства та роботомеханічних систем \_\_\_\_\_  
(назва кафедри)

Протокол № 10\_\_ від «27\_» \_06\_\_ 2024 р.

Завідувач кафедри докт. техн. наук, проф.  
(науковий ступінь та вчене звання)

  
(підпис)

О.О. Баранов  
(ініціали та прізвище)

## 1. Опис навчальної дисципліни

Найменування показників	Галузь знань, спеціальність, освітня програма, рівень вищої освіти	Характеристика навчальної дисципліни (денна форма навчання)
Кількість кредитів – 6	<b>Галузь знань</b> <u>13 «Механічна інженерія»</u> <small>(шифр та найменування)</small>  <b>Спеціальність</b> <u>131 «Прикладна механіка»</u> <small>(код та найменування)</small>  <b>Освітня програма</b> <u>«Роботомеханічні системи та комплекси»</u> <small>(найменування)</small>  <b>Рівень вищої освіти:</b>  другий (магістерський)	Обов'язкова
Кількість модулів – 1		<b>Навчальний рік</b>
Кількість змістовних модулів – 2		2023/2024
Індивідуальне завдання РГР «Чисельний розв'язок диференціального рівняння напруженого стану балки» <small>(назва)</small>		<b>Семестр</b>
Загальна кількість годин – 64/180		2-й
Кількість тижневих годин для денної форми навчання: аудиторних – 4 самостійної роботи студента – 7,25		<b>Лекції <sup>1)</sup></b>
		32 години
		<b>Практичні, семінарські<sup>1)</sup></b>
	32 години	
	<b>Лабораторні <sup>1)</sup></b>	
	___ годин	
<b>Самостійна робота</b>		
116 година		
<b>Вид контролю</b>		
модульний контроль, іспит		

Співвідношення кількості годин аудиторних занять до самостійної роботи становить: 64/116

<sup>1)</sup> Аудиторне навантаження може бути зменшене або збільшене на одну годину в залежності від розкладу занять.

## 2. Мета та завдання навчальної дисципліни

**Мета вивчення:** підготовка фахівців, здатних розв'язувати складні задачі і проблеми проектування та дослідження роботомеханічних систем та комплексів за допомогою механіки суцільних середовищ і навичок формулювання математичних динамічних моделей технічних систем та їх дослідження, розуміння процесів, що протікають у технічних системах, а також оволодіння шляхами розробки математичних динамічних моделей технічних систем.

**Завдання:** вивчення основ механіки суцільних середовищ, оволодіння навичками побудови математичних динамічних моделей технічних систем, освоєння програмного продукту LS-DYNA для моделювання та дослідження технічних систем.

Згідно з вимогами освітньо-професійної програми студенти повинні досягти таких **компетентностей:**

**Загальні компетентності спеціальності (ЗК)**

- ЗК1. Вміння виявляти, ставити та вирішувати проблеми.
- ЗК2. Здатність приймати обґрунтовані рішення.
- ЗК3. Навички використання інформаційних і комунікаційних технологій.
- ЗК8. Здатність вчитися і оволодівати сучасними знаннями.

**Фахові компетентності спеціальності (ФК)**

- **ФК1.** Спеціалізовані концептуальні знання новітніх методів та методик проектування і дослідження конструкцій, машин та/або процесів в галузі машинобудування.
- **ФК2.** Здатність критичного аналізу та прогнозування параметрів працездатності нових та існуючих механічних конструкцій, машин, матеріалів і виробничих процесів машинобудування на основі знання та використання сучасних аналітичних та/або комп'ютеризованих методів і методик.
- **ФК3.** Застосування відповідних методів і ресурсів сучасної інженерії на основі інформаційних технологій для вирішення широкого кола інженерних задач із застосуванням новітніх підходів, методів прогнозування з усвідомленням інваріантності розв'язків.
- **ФК5.** Здатність поставити задачу і визначити шляхи вирішення проблеми засобами, прикладної механіки та суміжних предметних галузей, знання методів пошуку оптимального рішення за умов неповної інформації та суперечливих вимог.
- **ФК6** Здатність застосовувати відповідні математичні, наукові і технічні методи, інформаційні технології та прикладне комп'ютерне програмне забезпечення для вирішення інженерних і наукових завдань з прикладної механіки.
- **ФК7.** Здатність описати, класифікувати та змодельовати широке коло технічних об'єктів та процесів, що ґрунтується на глибокому знанні та розумінні механічних теорій та практик, а також базових знаннях суміжних наук.
- **ФК8.** Здатність генерувати нові ідеї та уміння обґрунтування нових інноваційних проектів та просування їх на ринку.

**Результати навчання.** В результаті засвоєння курсу "Динаміка механічних систем" студент повинен:

- ПРН1- показати знання методології, методів і методики розробки і постановки на виробництво нового виду продукції, зокрема на етапах виконання науково- дослідницьких робіт та/або розробки технологічного забезпечення процесу її виготовлення.
- ПРН2- показати знання принципів побудови і функціонування систем автоматизації технологічних досліджень, проектно- конструкторських робіт, технологічної підготовки та інженерного аналізу в машинобудуванні.
- ПРН3- продемонструвати вміння виконувати моделювання, статичний та динамічний аналізи конструкцій, механізмів матеріалів та процесів на стадії проектування з використанням сучасних комп'ютерних систем.

- ПРН4- показати теоретичні знання і практичні навички використання сучасних методів пошуку оптимальних параметрів технічних систем засобами системного аналізу, математичного, імітаційного та комп'ютерного моделювання, зокрема і за умов неповної та суперечливої інформації
- ПРН5- показати здатність до самостійного вирішення поставлених задач інноваційного характеру (кваліфікаційна робота, курсове проектування), уміння аргументувати і захищати отримані результати та прийняті рішення, зокрема і публічно.
- ПРН6- уміння обґрунтування та оцінювання інноваційних проектів, знання методик просування їх на ринку, вміння виконувати економетричну та науково метричну оцінки.
- ПРН8- продемонструвати знання структури, функціонування, технічного та програмного забезпечення інформаційно-вимірювальних комп'ютеризованих систем в машинобудівному виробництві.
- ПРН9- продемонструвати знання та розуміння основ організації виробничого процесу.

### 3. Програма навчальної дисципліни Модуль 1.

#### Змістовий модуль 1. Основи механіки суцільного середовища

##### Тема 1. Вступ до дисципліни.

Зміст та структура дисципліни. Предмет та метод дисципліни. Основні поняття. Зв'язок з іншими науковими та учбовими дисциплінами. Історична довідка. Основні задачі дисципліни.

Системи координат. Вектори та матриці. Перетворення векторів, базисів та матриць. Ортогональність перетворень. Тензори. Перетворення тензорів. Індокси. Ознаки тензорів. Тензорна алгебра. Матрична аналогія тензорів другої валентності. Інваріанти симетричного тензора другої валентності. Диференційний оператор Гамільтона (набла).

##### Тема 2. Кінематика суцільного середовища.

Системи відліку. Два способи опису руху суцільного середовища - лагранжевий та ейлеровий. Зміна малого відрізка за умов деформування середовища. Тензор деформацій Гріна. Перетворення тензору деформацій при обертанні системи координат. Інфінітезимальний тензор деформацій. Геометричний сенс компонент тензору деформацій. Головні напрямки та головні значення тензора деформацій. Інваріанти тензору деформацій.

##### Тема 3. Внутрішні сили в суцільному середовищі.

Природний напружений стан. Поняття напруг як інтенсивності внутрішніх сил. Вектор напруг. Тензор напруг Коши. Проекції тензору напруг на напрямки. Вектор напруг на нахилений площинці. Перетворення компонент тензора напруг при обертанні системи координат. Інваріанти тензору напруг. Іntenсивність тензору напруг. Головні напруги та головні напрямки тензора напруг. Найбільші дотичні напруги.

##### Тема 4. Загальні закони механіки суцільного середовища.

Чотири закони динаміки суцільного середовища в інваріантній тензорній та в індексній формі: закон зміни енергії, закон зміни маси, закон зміни кількості руху, закон зміни моменту кількості руху. Наслідки законів, симетрія тензору напруг.

Початкові умови. Граничні умови. Контактні умови: зчеплення, ковзання, тертя, з невизначеними умовами.

##### Тема 5. Властивості суцільного середовища.

Закони поведінки суцільного середовища. Пружність, пластичність, в'язкість.

Загальна контактна задача динаміки системи тіл. Підсумкова загальна система диференціальних рівнянь та нерівностей в часткових похідних динаміки суцільного середовища. Характеристика системи: нелінійність, неоднорідність, нестационарність. Необхідність чисельного рішення.

##### Модульний контроль.

#### Змістовий модуль №2. Чисельне комп'ютерне моделювання механічних систем

##### Тема 6. Загальний метод дискретизації та рішення систем диференціальних рівнянь механіки суцільних середовищ.

Метод виважених різниць- загальний метод дискретизації систем ДРЧП, переформулювання в задачу вирішення систем звичайних диференціальних рівнянь (ЗДР). Зв'язок з задачами в узагальнених координатах.

Види апроксимації функцій просторових координат.

Слабке формулювання.

Часткова дискретизація.

Скінчено елементна дискретизація просторових залежностей та похідних.

Скінчено різницева дискретизація залежностей та похідних за часом.

Підсумкова задача рішення великих систем алгебраїчних рівнянь та нерівностей.

Явище чисельної нестійкості рішення дискретних рівнянь динаміки суцільного середовища. Критерії стійкості. Використання штучної в'язкості для стійкості процесу рішення. Аналогія з механічними нестійкістю руху, коливаннями та резонансом.

Безсіткові методи EFG, SPH, SPG.

Сумісний ейлерово - лагранжевий метод скінченних елементів FEM-ALE.

#### **Тема 7. Пакет LS-DYNA.**

Огляд пакету LS-DYNA. Призначення. Структура. Основні можливості та властивості. Історичний нарис. Основні теоретичні засади. Електронні книги.

Вхідний набір даних. Ключовий формат. Книга USER MANUAL.

#### **Тема 8. Компоненти пакету**

Препроцесори. Основні можливості та способи використання препроцесорів eta/preproc.28 та lsp 4.3. Побудова скінчено - елементної (дротової) моделі. Опис характеристик скінчених елементів. Опис матеріальних властивостей та відповідних параметрів. Опис граничних умов. Опис початкових умов. Опис параметрів збурення. Перевірка моделі. Керування розрахунковим процесом. Визначення баз даних. Формування вхідного набору даних для виконання розрахунків.

Розрахункове ядро пакету. Методи розрахунку. Керування розрахунковим процесом on-line. Протокол розрахункового процесу, повідомлення, переривання, рестарт.

Постпроцесор. Можливості та способи використання. Побудова кольорових картин розподілу іункцій НДС. Використання ізолій. Анімації. Побудова графіків зміни значень функцій за часом. Векторні поля. Постпроцесорна обробка результатів. Збереження та копіювання результатів.

#### **Тема 9. Моделювання руху візка**

Опис виконання підготовки вхідного набору даних, виконання рішення та його інтерпретації на прикладі моделювання руху візку.

#### **Тема 10. Огляд рішень та аналізу задач.**

Задачі моделювання ROPS трактора, гнуття металу, власних коливань електричного роз'єму, стругання деталі.

#### **Модульний контроль.**

#### 4. Структура навчальної дисципліни

Назви змістовних модулів і тем	Кількість годин				
	Усього	У тому числі			
		л	п	лаб.	с. р.
1	2	3	4	5	6
<b>Модуль 1</b>					
<b>Змістовний модуль 1. Механіка суцільного середовища</b>					
Тема 1. Вступ до дисципліни.	18	4	4		10
Тема 2. Кінематика суцільного середовища.	20	4	4		12
Тема 3. Внутрішні сили в суцільному середовищі.	20	4	4		12
Тема 4. Загальні закони механіки суцільного середовища.	12	4			8
Тема 5. Властивості суцільного середовища.	12	4	0		8
Модульний контроль	2		2		
Разом за змістовним модулем 1	84	20	14		50
<b>Змістовний модуль 2. Чисельне комп'ютерне моделювання механічних систем</b>					
Тема 6. Загальний метод дискретизації	24	6	8		10
Тема 7. Пакет LS-DYNA	12	2	0		10
Тема 8. Компоненти пакета	12	2			10
Тема 9. Моделювання руху візка	16	2	4		10
Тема 10 Приклади рішення та аналіза задач	8	0	4		4
Модульний контроль	2		2		
Разом за змістовним модулем 2	74	12	18		44
<b>Усього годин</b>	158	32	32		94
Індивідуальне завдання	22				22
Контрольний захід					
<b>Усього годин</b>	180	32	32		116

#### 5. Теми семінарських занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1		
2		
	<b>Разом</b>	

#### 6. Теми практичних занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин



1	Системи координат. Вектори та матриці. Перетворення векторів, базисів та матриць. Ортогональність перетворень. Перетворення тензорів. Тензорна алгебра. Матрична аналогія тензорів другої валентності. Інваріанти симетричного тензора другої валентності.	4
2	Тензор деформацій. Геометричний сенс компонент тензору деформацій. Інваріанти тензору деформацій.	4
3	Тензор напруг Коши. Проекції тензору напруг на напрямки. Перетворення компонент тензора напруг при обертанні системи координат. Інваріанти тензору напруг. Інтенсивність тензору напруг, головні напруги, найбільші дотичні напруги.	4
4	Скінченно-різницева рішення задачі про згин балки	2
5	Скінченно елементна дискретизація просторових залежностей та похідних. Рішення звичайного диференціального рівняння.	2
	Скінченно-елементне рішення диференціального рівняння в частинних похідних	2
5	Явище чисельної нестійкості рішення дискретних рівнянь динаміки суцільного середовища.	2
6	Опис виконання підготовки вхідного набору даних, виконання рішення та його інтерпретації на прикладі моделювання руху візка. Керування розрахунковим процесом on-line.	4
7	Задачі моделювання ROPS трактора, гнуття металу, власних коливань електричного роз'єму, стругання деталі.	4
8	Модульний контроль	4
	<b>Разом</b>	<b>32</b>

## 7. Теми лабораторних занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1		
2		
	<b>Разом</b>	

## 8. Самостійна робота

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1	Системи координат. Вектори та матриці. Перетворення векторів, базисів та матриць. Ортогональність перетворень. Тензори. Перетворення тензорів. Індокси. Ознаки тензорів	10
2	Системи відліку. Два способи опису руху суцільного середовища - лагранжевий та ейлерів. Зміна малого відрізка за умов деформування середовища. Тензор деформацій. Перетворення тензору деформацій при обертанні системи координат. Інфінітезімальний тензор деформацій. Геометричний сенс компонент тензору деформацій. Інваріанти тензору деформацій.	12
3	Природний напружений стан. Поняття напруг як інтенсивності внутрішніх сил. Вектор напруг. Проекції тензору напруг на напрямки. Тензор напруг Коши. Перетворення компонент тензора напруг при обертанні системи координат. Інваріанти тензору	12

	напруг. Інтенсивність тензору напруг, головні напруги , найбільші дотичні напруги.	
4	Чотири закони динаміки суцільного середовища в інваріантній тензорній формі: закон зміни енергії, закон зміни маси, закон зміни кількості руху, закон зміни моменту кількості руху. Наслідки законів. Початкові умови. Граничні умови. Контактні умови: зчеплення, ковзання, тертя, з невизначеними умовами.	10
5	Пружність, пластичність, в'язкість. Закони поведінки суцільного середовища. Загальна контактна задача динаміки системи тіл. Підсумкова загальна система диференціальних рівнянь та нерівностей в часткових похідних динаміки суцільного середовища. Характеристика системи: нелінійність, неоднорідність.	14
6	Метод виважених нев'язок- загальний метод дискретизації систем ДРЧП. Зв'язок з задачами в загальних координатах. Слабке формулювання. Часткова дискретизація. Скінчено елементна дискретизація просторових залежностей та похідних. Скінчено різницева дискретизація залежностей та похідних за часом. Підсумкова задача рішення великих систем алгебраїчних рівнянь та нерівностей. Явище чисельної нестійкості рішення дискретних рівнянь динаміки суцільного середовища. Критерії стійкості. Використання штучної в'язкості для стійкості процесу рішення. Аналогія з механічними нестійкістю руху, коливаннями та резонансом.	20
7	Пакет LS-DYNA. Призначення. Структура. Основні можливості та властивості. Основні теоретичні засади. Електронні книги	10
8	Препроцесор . Основні можливості та способи використання. Побудова скінченно- елементної (дротової) моделі. Опис характеристик скінчених елементів. Опис матеріальних властивостей та відповідних параметрів. Опис граничних умов. Опис початкових умов. Опис параметрів збурення. Перевірка моделі. Керування розрахунковим процесом. Визначення баз даних. Формування вхідного набору даних для виконання розрахунків.	4
9	Розрахункове ядро пакету. Керування розрахунковим процесом on-line. Протокол розрахункового процесу, повідомлення, переривання, рестарт. Книга USER MANUAL.	2
10	Постпроцесор. Можливості та способи використання. Побудова кольорових картин розподілу функцій НДС. Використання ізоліній. Анімації. Побудова графіків зміни значень функцій за часом. Векторні поля. Постпроцесорна обробка результатів. Збереження та копіювання результатів.	4
10	Моделювання руху візка	14
12	Приклади рішення та аналіза задач.	4
	<b>Разом</b>	<b>116</b>

## 9. Індивідуальні завдання

РГР «Чисельний розв'язок диференціального рівняння напруженого стану балки»

## 10. Методи навчання

Проведення аудиторних лекцій, практичних занять, індивідуальні консультації, самостійна робота студентів за матеріалами, опублікованими кафедрою (методичні посібники).

## 11. Методи контролю

Проведення поточного контролю, письмового модульного контролю, перевірка РГР, фінальний контроль у вигляді іспитів.

## 12. Критерії оцінювання та розподіл балів, які отримують студенти

12.1. Розподіл балів, які отримують студенти (кількісні критерії оцінювання)

Складові навчальної роботи	Бали за одне заняття (завдання)	Кількість занять (завдань)	Сумарна кількість балів
<b>Змістовний модуль 1</b>			
Робота на лекціях	0...1	10	0...10
Робота на практичних заняттях	0...1	6	0...6
Модульний контроль	0...25	1	0...25
<b>Змістовний модуль 2</b>			
Робота на лекціях	0...1	6	0...6
Робота на практичних заняттях	0...1	8	0...8
Модульний контроль	0...25	1	0...25
Виконання та захист РГР	0...20		0...20
<b>Всього за семестр</b>			<b>0...100</b>

Семестровий контроль (іспит) проводиться у разі відмови студента від балів поточного тестування та за наявності допуску до іспиту. При складанні семестрового іспиту студент має можливість отримати максимум 100 балів.

Білет для іспиту складається з двох теоретичних питань та однієї задачі. Максимальна кількість балів за одне теоретичне питання –20, за задачу –60. Загальна максимальна кількість балів дорівнює 100 балів

12.2. Якісні критерії оцінювання

Необхідний обсяг знань для одержання позитивної оцінки:

1. Опис початкових умов.
2. Опис параметрів збурення.
3. Перевірка Системи координат.
4. Вектори та матриці. Перетворення векторів, базисів та матриць.
5. Ортогональність перетворень.
6. Тензори. Перетворення тензорів. Індекси. Ознаки тензорів.
7. Системи відліку.
8. Два способи опису руху суцільного середовища - лагранжевий та ейлерів.
9. Зміна малого відрізка за умов деформування середовища.
10. Тензор деформацій.
11. Перетворення тензору деформацій при обертанні системи координат.
12. Інфінітезимальний тензор деформацій.

13. Геометричний сенс компонент тензору деформацій.
14. Інваріанти тензору деформацій.
15. Природний напружений стан.
16. Поняття напруг як інтенсивності внутрішніх сил. Вектор напруг. Тензор напруг.
17. Проекції тензору напруг на напрямки.
18. Перетворення компонент тензора напруг при обертанні системи координат.
19. Інваріанти тензору напруг.
20. Інтенсивність тензору напруг, головні напруги, найбільші дотичні напруги.
21. Закон зміни енергії в інваріантній тензорній формі.
22. Закон зміни маси в інваріантній тензорній формі.
23. Закон зміни кількості руху в інваріантній тензорній формі.
24. Закон зміни моменту кількості руху в інваріантній тензорній формі.
25. Початкові умови.
26. Граничні умови.
27. Контактні умови: зчеплення, ковзання, тертя, з невизначеними умовами.
28. Пружність, пластичність, в'язкість.
29. Закони поведінки суцільного середовища.
30. Загальна контактна задача динаміки системи тіл.
31. Характеристика системи диференціальних рівнянь та нерівностей в часткових похідних динаміки суцільного середовища: нелінійність, неоднорідність. Необхідність чисельного рішення.
32. Метод виважених різниць- загальний метод дискретизації систем ДРЧП, переформулювання в задачу вирішення систем звичайних диференціальних рівнянь (ЗДР). Зв'язок з задачами в загальних координатах.
33. Слабке формулювання.
34. Часткова дискретизація
35. Скінчено елементна дискретизація просторових залежностей та похідних.
36. Скінчено різницева дискретизація залежностей та похідних за часом.
37. Явище чисельної нестійкості рішення дискретних рівнянь динаміки суцільного середовища. Критерії стійкості.
38. Використання штучної в'язкості для стійкості процесу рішення. Аналогія з механічними нестійкістю руху, коливаннями та резонансом.
39. Призначення пакету LS-DYNA.
40. Структура пакету LS-DYNA.
41. Основні можливості та властивості пакету LS-DYNA. Основні теоретичні засади.
42. Побудова скінчено - елементної (дротової) моделі.
43. Опис характеристик скінчених елементів.
44. Опис матеріальних властивостей та відповідних параметрів.
45. Опис граничних умов моделі.
46. Керування розрахунковим процесом.
47. Визначення баз даних.
48. Формування вхідного набору даних для виконання розрахунків.
49. Керування розрахунковим процесом on-line.
50. Протокол розрахункового процесу, повідомлення, переривання, рестарт
51. Книга USER MANUAL.
52. Можливості та способи використання препроцесору.
53. Побудова кольорових картин розподілу функцій НДС.
54. Використання ізоліній.
55. Анімації.
56. Побудова графіків зміни значень функцій за часом.
57. Векторні поля.
58. Збереження та копіювання результатів.

59.Опис виконання підготовки вхідного набору даних, виконання рішення та його інтерпретації на прикладі системи штампування тонкошарової деталі.

Необхідний обсяг умінь для одержання позитивної оцінки:

1. Вектори та матриці. Перетворення векторів, базисів та матриць..
2. Операції матричної алгебри.
3. Побудова елементарних матриць обертання
4. Побудова матриць послідовностей обертання
5. Тензори. Перетворення тензорів. Індекси. Ознаки тензорів.
6. Системи відліку.
7. Побудова тензору деформацій.
8. Перетворення тензору деформацій при обертанні системи координат.
9. Інфінітезимальний тензор деформацій
10. Інваріанти тензору деформацій
11. Тензор напруг Гріна.
12. Проекції тензору напруг на напрямок
13. Перетворення компонент тензора напруг при обертанні системи координат.
14. Інваріанти тензору напруг.
15. Інтенсивність тензору напруг, головні напруги , найбільші дотичні напруги
16. Початкові умови.
17. Граничні умови.
18. Контактні умови: зчеплення, ковзання, тертя, з невизначеними умовами.
19. Пружність, пластичність, в'язкість.
20. Метод виважених різниць - загальний метод дискретизації систем ДРЧП, переформулювання в задачу вирішення систем звичайних диференціальних рівнянь (ЗДР). Зв'язок з задачами в загальних координатах
21. Часткова дискретизація
22. Скінчено елементна дискретизація просторових залежностей та похідних.
23. Скінчено різницева дискретизація залежностей та похідних за часом.
24. Явище чисельної нестійкості рішення дискретних рівнянь динаміки суцільного середовища. Критерії стійкості.
25. Структура пакету LS-DYNA.
26. Основні можливості та властивості пакету LS-DYNA. Основні теоретичні засади.
27. Побудова скінчено - елементної (дротової) моделі.
28. Опис характеристик скінчених елементів.
29. Опис матеріальних властивостей та відповідних параметрів.
30. Опис граничних умов.
31. Опис початкових умов.
32. Опис параметрів збурення.
33. Перевірка моделі.
34. Керування розрахунковим процесом.
35. Визначення баз даних.
36. Формування вхідного набору даних для виконання розрахунків.
37. Керування розрахунковим процесом on-line.
38. Протокол розрахункового процесу, повідомлення, переривання, рестарт
39. Книга USER MANUAL.
40. Можливості та способи використання препроцесору.
41. Побудова кольорових картин розподілу функцій НДС.
42. Використання ізоліній.
43. Анімації.
44. Побудова графіків зміни значень функцій за часом.
45. Векторні поля.

46. Збереження та копіювання результатів.

47. Опис виконання підготовки вхідного набору даних, виконання рішення та його інтерпретації на прикладі системи штампування тонкошарової деталі

12.3 Критерії оцінювання роботи студента протягом семестру

**Задовільно (60-74).** Мати мінімум знань та умінь. Знати основні поняття векторного, матричного та тензорного аналізу та алгебри. Виконати та захистити домашнє завдання. Знати чотири закони механіки суцільного середовища. Мати уяви про пакет LS-DYNA. Вміти за допомогою викладача формулювати, вирішувати та інтерпретувати рішення задачі динаміки..

**Добре (75 - 89).** Крім попереднього вміти виконувати перетворення векторів, матриць та тензорів. Знати закони кінематики та динаміки маніпуляторів та їх теоретичне обґрунтування. Вміти самостійно формулювати та за допомогою викладача вирішувати з використанням пакету LS-DYNA і інтерпретувати рішення задачі динаміки, а також пояснювати результати, отримані в результаті вирішення задач.

**Відмінно (90 - 100).** Повно знати основний матеріал курсу. Виконати та відмінно захистити домашнє завдання. Вміти самостійно:

- розшукувати та усвідомлювати теоретичний матеріал з літературних джерел;
- формулювати, вирішувати та інтерпретувати рішення задачі динаміки за допомогою пакету LS-DYNA
- ;аналізувати та пояснювати отримані результати рішення задач.

### Шкала оцінювання: бальна і традиційна

Сума балів	Оцінка за традиційною шкалою
	Іспит, диференційований залік
90 – 100	Відмінно
75 – 89	Добре
60 – 74	Задовільно
0 – 59	Незадовільно

### 13. Методичне забезпечення

1. Меньшиков В.О. Динаміка механізмів: навч. посіб. Харків: Нац. аерокосм. ун-т ім. М. Є. Жуковського "Харк. авіац. ін-т", 2016. 91 с. [http://library.khai.edu/library/fulltexts/metod/Menshukov\\_Dunamika\\_Mehanizmov.pdf](http://library.khai.edu/library/fulltexts/metod/Menshukov_Dunamika_Mehanizmov.pdf)
2. Усік В.В. Курс теорії механізмів і машин: навч. посіб.- Харків: Нац. аерокосм. ун-т ім. М. Є. Жуковського "Харк. авіац. ін-т", 2019. 86 с. [http://library.khai.edu/library/fulltexts/Knigi/Usik\\_Kurs\\_Teoriyi.pdf](http://library.khai.edu/library/fulltexts/Knigi/Usik_Kurs_Teoriyi.pdf)

### 14. Рекомендована література

#### Базова

1. Будак В.Д., Жук Я.О. Механіка суцільних середовищ.- Миколаїв: «Ліон», 2011.- 160 с.
2. Кінцево-елементне моделювання в інженерних розрахунках/ Н.М. Лавріненко, В.О. Сукманов, А.О. Авраменко, А.І. Українець, Д.С. Афенченко, А.В. Шульга.- Донецьк: ДонНУЕТ, Норд-Пресс, 2008.-668 с. ISBN 978-966-380-268-8/

### **Допоміжна**

1. Aklonis M.A., Goldberg V.V. Tensor calculus with applications, New Jersey: World scientific, 2003.- 364 p.
2. Timoshenko S.P., Goodier J.N. Theory of elasticity- N.Y.:McGrow-Hill, 1970.-567 p.
3. Zienkiewicz O.C. The finite element method in engineering science. London : McGraw-Hill, 1971- 540 p.

### **15. Інформаційні ресурси**

<https://education.khai.edu/department/202>  
<https://k202.tilda.ws/>