


Розробник:
доцент кафедри композиційних конструкцій
і авіаційного матеріалознавства (№ 403)
к.т.н., доцент


(підпис) Федір ГАГАУЗ

Робочу програму розглянуто на засіданні кафедри композиційних конструкцій і авіаційного матеріалознавства (№403), протокол № 1 від 29.08.2023 р.

В.о. завідувача кафедри 403
к.т.н., доцент


(підпис) Федір ГАГАУЗ

1. Опис навчальної дисципліни

| | | | |
|---|---|---|--|
| Найменування показників | Галузь знань, спеціальність, освітня програма, рівень вищої освіти | Характеристика навчальної дисципліни (денна форма навчання) | |
| Кількість кредитів – 5,5 | Галузь знань <u>13 Механічна інженерія</u> (шифр і найменування) | Обов'язкова | |
| Кількість модулів – 2 | | Навчальний рік 2023 / 2024 | |
| Кількість змістових модулів – 4 | Спеціальність <u>134 Авіаційна та ракетно-космічна техніка</u> (код і найменування) | Семестр 7-й 8-й | |
| Загальна кількість годин – 60 / 165 | | Лекції – 24 год. | |
| Кількість тижневих годин для денної форми навчання: аудиторних – 5; самостійної роботи – 8.75 | Освітня програма <u>«Проектування та виробництво композитних конструкцій»</u> (найменування) | Практичні – 36 год. | |
| | | Лабораторні – – | |
| | | Самостійна робота – 105 год. | |
| | | Вид контролю – іспит | |

Співвідношення кількості годин аудиторних занять до самостійної роботи становить 60 / 105.

2. Мета та завдання навчальної дисципліни

Мета: вивчити сучасні чисельні методи розрахунку на міцність конструкцій із композитів, зокрема метод скінчених елементів.

Завдання: вивчення основ варіаційних методів та методу скінчених елементів для розрахунку на міцність та стійкість конструкцій із композитів та придбання навичок моделювання елементів авіаційних конструкцій за допомогою систем інженерного аналізу.

Зміст навчальної дисципліни направлений на формування наступних компетентностей, визначених освітньою програмою:

- ЗК07. Здатність приймати обґрунтовані рішення;
- ЗК08. Здатність вчитися і оволодівати сучасними знаннями;
- ФК01. Використовування математичного апарату під час вирішення завдань в області проектування та виробництва конструкцій РКТ;
- ФК02. Здатність опису взаємодії тіл між собою, а також з газовим і гідравлічним середовищем на підставі базових знань в основних розділах фізики, механіки, електростатики, електродинаміки, оптики, аеро-, газо- та гідродинаміки;
- ФК04. Здатність здійснювати розрахунки елементів ракетно-космічної техніки на міцність;
- ФК07. Навички використання інформаційних і комунікаційних технологій та спеціалізованого програмного забезпечення при навчанні та у професійній діяльності;
- ФК10. Здатність використовувати відповідне програмне забезпечення (мови програмування, пакети) для розрахунків та проектування конструкцій РКТ.

Отримані знання з навчальної дисципліни стануть складовими наступних програмних результатів навчання, визначених освітньою програмою:

- ПР05. Володіти навичками самостійного навчання та автономної роботи для підвищення професійної кваліфікації та вирішення проблем в новому або незнайомому середовищі;
- ПР10. Володіти навичками визначення навантажень на конструктивні елементи ракетно-космічної техніки на усіх етапах її життєвого циклу;
- ПР16. Обчислювати напружено-деформований стан, визначати несучу здатність конструктивних елементів та надійність систем ракетно-космічної техніки.

3. Програма навчальної дисципліни

Модуль 1. Вступ у метод скінчених елементів.

Змістовий модуль 1. Варіаційні методи.

Тема 1. Варіаційні принципи механіки деформівного твердого тіла. Варіаційні методи. Особливості розв'язування системи основних рівнянь лінійної теорії пружності. Варіаційні принципи механіки пружного твердого тіла. Принцип можливих переміщень, запис варіаційного функціоналу. Принципу можливих змін напруженого стану. Змішані варіаційні принципи. Сутність варіаційних методів рішення задач будівельної механіки. Основні положення метода Релея – Рітца. Апроксимація поля переміщень в методі Релея – Рітца, основні вимоги що до вибору апроксимуючих функцій. Підвищення точності рішення інженерних задач методом Релея – Рітца. Варіаційні рівняння що застосовуються при рішенні задач будівельної механіки.

Тема 2. Приклади рішення задач будівельної механіки варіаційним методом Релея – Рітца. Застосування варіаційного методу Релея – Рітца для розрахунку шарнірно-опертої балки при поперечному згині. Застосування варіаційного методу Релея – Рітца для розрахунку статично-невизначених балок при довільному навантаженні.

Змістовий модуль 2. Вступ у метод скінчених елементів.

Тема 3. Теоретичні основи методу скінчених елементів. Метод скінчених елементів в трактовці метода переміщень. Основні положення методу скінчених елементів. Різновиди методу скінчених елементів (метод переміщень, метод зусиль та змішаний). Формулювання принципу можливих переміщень в методі скінчених елементів. Основне рівняння методу скінчених елементів на основі принципу можливих переміщень. Поняття о матриці жорсткості скінченого елемента. Апроксимація поля переміщень елемента. Особливості вибору апроксимуючих функцій. Система розв'язуючих рівнянь методу скінчених елементів. Оцінка точності і погрішності обчислення при аналізі конструкцій за допомогою методу скінчених елементів.

Тема 4. Побудова матриці жорсткості одномірного елемента типу балки. Основи створення моделей скінчених елементів. Етапи аналізу конструкцій за допомогою методу скінчених елементів. Побудова матриці жорсткості одномірного елемента типу балки довжиною L за допомогою основного рівняння методу скінчених елементів. Матриці жорсткості одномірних елементів типу балки довжиною L/n . Визначення переміщень і зусиль в шарнірно-опертої балці МСЕ з використанням одного скінченого елемента. Шляхи підвищення точності розрахунку конструкцій МСЕ (збільшення кількості скінчених елементів, використання скінчених елементів вищого порядку).

Модульний контроль №1

Модуль 2. Основні можливості CAE-систем.

Змістовий модуль 3. Базові інструменти.

Тема 5. Введення в CAE. Побудова геометричних моделей. Сучасний ринок і функціональні можливості CAD/CAM/CAE систем. Системи підтримки інженерного аналізу (Computer Aided Engineering). Елементи інтерфейсу. Основні процедури та операції, що застосовуються при побудові геометричної моделі. Панель інструментів Geometry. Типові команди побудови точок, ліній, кривих, поверхонь.

Тема 6. Створення сітки скінчених елементів. Основні процедури та операції, що застосовуються при побудові скінченно-елементної моделі. Загальна характеристика основних типів скінчених елементів, які використовуються при розрахунку на міцність та стійкість авіаційних конструкцій. Двомірні скінчені елементи вищого порядку. Типи елементів, що застосовуються для моделювання композитних конструкцій. Панель інструментів Meshing. Особливості створення сітки скінчених елементів інструментами Isomesh, Paver та Hybrid.

Тема 7. Граничні умови та зовнішні навантаження. Особливості моделювання граничних умов та навантаження на елементи авіаційних конструкцій. Панель інструментів Load/BC. Моделювання зосереджених та розподілених сил, рівномірно та нерівномірно розподілених зусиль. Створення та редагування розрахункових випадків.

Тема 8. Типи аналізу. Відображення результатів розрахунку. Типи задач та їх особливості. Проведення лінійного статичного розрахунку та розрахунку на стійкість. Типи файлів, які генеруються під час виконання розрахунків. Можливі помилки при виконанні розрахунків та їх усунення. Базовий набір результатів при виконанні лінійного статичного розрахунку та розрахунку на стійкість. Розширення набору результатів (розширення вихідних параметрів напружено-деформованого стану). Інтерпретація результатів розрахунку на міцність та стійкість авіаційних конструкцій.

Тема 9. Розрахунок елементів конструкцій. Проведення лінійного статичного розрахунку та розрахунку на стійкість базових елементів авіаційних конструкцій, у тому числі з композиційних матеріалів.

Змістовий модуль 4. Розширені функції.

Тема 10. Застосування модуля Laminate Modeler для моделювання та розрахунку на міцність композитних конструкцій. Основні можливості модуля Laminate Modeler Сучасний для візуалізації результатів розрахунку на міцність елементів композитних конструкцій. Обчислення критеріїв міцності, запасів міцності, критичних компонент напруженого стану та ін. Типи критеріїв міцності, що використовуються при аналізі конструкцій.

Тема 11. Моделювання спеціальних умов взаємодії вузлів та скінчених елементів. Створення особливих умов взаємодії вузлів скінчених елементів. Спеціальні зв'язки між вузлами та їх типи (MPC). Область застосування MPC за типами.

Тема 12. Моделювання умов контакту. Створення контактних умов взаємодії скінчених елементів. Типи контактів. Опис параметрів контактної взаємодії елементів. Результати та їх інтерпретація при рішенні контактних завдань.

Модульний контроль №2

4. Структура навчальної дисципліни

| Назви змістових модулів і тем | Кількість годин | | | | |
|---|-----------------|--------------|---|-----|------|
| | усього | у тому числі | | | |
| | | л | п | лаб | с.р. |
| Модуль 1. Вступ у метод скінчених елементів | | | | | |
| Змістовий модуль 1. Варіаційні методи | | | | | |
| Тема 1. Варіаційні принципи механіки деформованого твердого тіла. Варіаційні методи | 6 | 2 | | | 4 |
| Тема 2. Приклади рішення задач будівельної механіки варіаційним методом Релея – Рітца | 12 | 2 | 2 | | 8 |
| Змістовий модуль 2. Вступ у метод скінчених елементів | | | | | |
| Тема 3. Теоретичні основи методу скінчених елементів | 12 | 2 | 2 | | 8 |
| Тема 4. Побудова матриці жорсткості одномірного елемента типу балки | 12 | 2 | 2 | | 8 |
| Модульний контроль №1 | 6 | | 2 | | 4 |
| Модуль 2. Основні можливості CAE-систем | | | | | |
| Змістовий модуль 3. Базові інструменти | | | | | |
| Тема 5. Введення в CAE. Побудова геометричних моделей | 8 | 2 | 2 | | 4 |
| Тема 6. Створення сітки скінчених елементів | 12 | 2 | 2 | | 8 |

| Назви змістових модулів і тем | Кількість годин | | | | |
|---|-----------------|--------------|-----------|----------|------------|
| | усього | у тому числі | | | |
| | | л | п | лаб | с.р. |
| Тема 7. Граничні умови та зовнішні навантаження | 12 | 2 | 2 | | 8 |
| Тема 8. Типи аналізу. Відображення результатів розрахунку | 12 | 2 | 2 | | 8 |
| Тема 9. Розрахунок елементів конструкцій | 28 | 2 | 10 | | 16 |
| Змістовий модуль 4. Розширені функції MSC.PATRAN/NASTRAN | | | | | |
| Тема 10. Застосування модуля Laminate Modeler для моделювання та розрахунку на міцність композитних конструкцій | 15 | 2 | 4 | | 9 |
| Тема 11. Моделювання спеціальних умов взаємодії вузлів та скінчених елементів | 12 | 2 | 2 | | 8 |
| Тема 12. Моделювання умов контакту | 12 | 2 | 2 | | 8 |
| Модульний контроль №2 | 6 | | 2 | | 4 |
| Разом з дисципліни | 165 | 24 | 36 | 0 | 105 |

5. Теми практичних занять

| № з/п | Назва теми | Кількість годин |
|---------------------------|---|-----------------|
| 1 | Розрахунок статично визначених балок методом Релея – Ритца | 2 |
| 2 | Побудова матриці жорсткості одномірного елемента типу балки | 2 |
| 3 | Рішення задачі о поперечному згині балки МСЕ з використанням одного скінченного елемента | 2 |
| 4 | Модульний контроль №1. Вибір апроксимуючої функції та запис варіаційного функціоналу для розрахунку балок методом Релея – Ритца | 2 |
| 5 | Побудова одновимірних та двовимірних геометричних моделей | 2 |
| 6 | Побудова сітки скінчених елементів на основі одновимірних та двовимірних геометричних моделей | 2 |
| 7 | Накладення граничних умов та зовнішніх навантажень на основі геометричних та скінчено-елементних примітивів | 2 |
| 8 | Виконання статичного аналізу рами та побудова епюр силових факторів, напружень та переміщень | 2 |
| 9 | Статичний розрахунок балки на основі одновимірної геометричної моделі при декількох розрахункових випадках | 2 |
| 10 | Статичний розрахунок та аналіз стійкості гладкої панелі із композиційного матеріалу | 2 |
| 11 | Статичний розрахунок та аналіз стійкості панелі з отвором із композиційного матеріалу | 2 |
| 12 | Статичний розрахунок та аналіз стійкості композитної балки на основі двовимірної геометричної моделі при декількох розрахункових випадках | 2 |
| 13 | Статичний розрахунок та аналіз стійкості композитної підкріпленої панелі | 2 |
| 14 | Прогнозування міцності композиційного матеріалу | 2 |
| 15 | Аналіз міцності композитної панелі за різними критеріями | 2 |
| 16 | Статичний розрахунок та аналіз стійкості форменої конструкції | 2 |
| 17 | Статичний розрахунок спрощеної моделі багаторядного болтового з'єднання | 2 |
| 18 | Модульний контроль №2. Аналіз міцності та стійкості конструкцій | 2 |
| Разом з дисципліни | | 36 |

6. Самостійна робота

| № з/п | Назва теми | Кількість годин |
|---------------------------|--|-----------------|
| 1 | Тема 1. Запис матриці жорсткості ізотропних, ортотропних і анізотропних матеріалів | 4 |
| 2 | Тема 2. Рішення задач будівельної механіки варіаційним методом Релея – Рітца | 8 |
| 3 | Тема 3. Теоретичні основи методу скінчених елементів | 8 |
| 4 | Тема 4. Побудова матриці жорсткості одномірного елемента типу стержня | 8 |
| 5 | Підготовка до модульного контролю №1 | 4 |
| 6 | Тема 5. Основна структура програмного середовища | 4 |
| 7 | Тема 6. Створення сітки скінчених елементів | 8 |
| 8 | Тема 7. Граничні умови та зовнішні навантаження | 8 |
| 9 | Тема 8. Типи аналізу. Відображення результатів розрахунку | 8 |
| 10 | Тема 9. Розрахунок елементів конструкцій | 16 |
| 11 | Тема 10. Особливості моделювання та розрахунку на міцність композитних конструкцій | 9 |
| 12 | Тема 11. Моделювання спеціальних умов взаємодії вузлів та скінчених елементів | 8 |
| 13 | Тема 12. Моделювання умов контакту | 8 |
| 14 | Підготовка до модульного контролю №2 | 4 |
| Разом з дисципліни | | 105 |

7. Методи навчання

Проведення лекцій та практичних занять, індивідуальні консультації (при необхідності), самостійна робота студентів.

8. Методи контролю

Проведення поточного контролю на лекціях та практичних заняттях, письмового модульного контролю, що виконується під час аудиторних занять, перевірка розрахункової роботи, семестровий контроль у вигляді іспиту.

9. Критерії оцінювання та розподіл балів, які отримують студенти

Кількісні критерії оцінювання (розподіл балів)

| Складові навчальної роботи | Бали за одне заняття (завдання) | | Кількість занять (завдань) | Сумарна кількість балів | |
|----------------------------------|---------------------------------|-----|----------------------------|-------------------------|------------|
| | min | max | | min | max |
| Практичні роботи | 6 | 10 | 6 | 36 | 60 |
| Розрахункова робота* | 12 | 20 | 1 | 12 | 20 |
| Модульний контроль | 6 | 10 | 2 | 12 | 20 |
| Всього | | | | 60 | 100 |
| * Обов'язковий контрольний захід | | | | | |

Семестровий контроль (іспит) проводиться у разі відмови студента від балів поточного тестування. Під час складання семестрового іспиту студент має можливість отримати максимум 80 балів. Іспит проводиться у вигляді тестування на ЕОМ. Комплекс контрольних завдань складається з 20 питань за наведеними вище темами. Максимальна кількість балів за кожну правильну відповідь на питання тестового завдання – 4 бали.

Якісні критерії оцінювання (необхідний обсяг знань і вмінь)

Необхідний обсяг знань для одержання позитивної оцінки:

- основні рівняння лінійної теорії пружності, що використовуються при розв'язуванні інженерних задач;
- основні варіаційні методи для розрахунку напружено-деформованого стану конструкцій;
- суть та ідею метода скінчених елементів;
- основні етапи аналізу конструкцій за допомогою методу скінчених елементів;
- особливості застосування методу скінчених елементів для аналізу конструкції із композиційних матеріалів;
- особливості вибору та використання критерію міцності;
- переваги та недоліки використання методу скінчених елементів.

Необхідний обсяг вмінь для одержання позитивної оцінки:

- раціонально вибирати на ринку програмних продуктів пакет інженерного аналізу відповідно до своїх потреб;
- моделювати у системі САЕ конструкції різного ступеня складності;
- визначати у системі САЕ компоненти напружено-деформованого стану елементів конструкцій з композитів при зовнішньому силовому та термічному навантаженні;
- визначати у системі САЕ критичні зусилля втрати стійкості елементів конструкцій;
- інтерпретувати та аналізувати результати розрахунку елементів конструкції у пакеті MSC.Patran/Nastran.

Критерії оцінювання роботи студента

Задовільно (60...74). Показати мінімум знань та вмінь. Здати всі модульні завдання. Вміти самостійно обирати типи скінчених елементів для розрахунку базових елементів авіаційної та ракетно-космічної техніки із КМ. Вільно орієнтуватися та застосовувати інструменти накладання граничних умов та зовнішніх навантажень в залежності від реальних умов експлуатації конструкцій.

Добре (75...89). Твердо знати мінімум, здати всі модульні завдання та додаткову поза аудиторну самостійну роботу. Розв'язувати прикладні інженерні задачі з розрахунку елементів авіаційної та ракетно-космічної техніки із КМ, вміти інтерпретувати результати розрахунків.

Відмінно (90...100). Здати всі контрольні заходи та додаткову поза аудиторну самостійну роботу з оцінкою «відмінно». Досконально володіти інформацією за всіма темами та вміти застосовувати її.

Шкала оцінювання: бальна і традиційна

| Сума балів за всі види навчальної діяльності | Оцінка за традиційною шкалою | |
|--|-------------------------------|---------------|
| | Іспит, диференційований залік | Залік |
| 90 – 100 | Відмінно | Зараховано |
| 75 – 89 | Добре | |
| 60 – 74 | Задовільно | |
| 0 – 59 | Незадовільно | Не зараховано |

10. Методичне забезпечення

1. Методичні вказівки по виконанню лабораторних робіт [Электронный ресурс].

11. Рекомендована література

Базова

1. Дубенець В.Г., Хильчевський В.В., Савченко О.В. Основи методу скінченних елементів: навчальний посібник. – Чернігів: ЧДТУ, 2007. – 288 с.
2. Дубенець В.Г., Хильчевський В.В., Савченко О.В. Основи методу скінченних елементів. – Чернігів, ЧДТУ. – 2003. – 346 с.
3. Овчаренко В.А., Подлесний С.В., Зінченко С.М. Основи методу кінцевих елементів і його застосування в інженерних розрахунках: навчальний посібник. – Краматорськ: ДДМА, 2008. – 380 с.

Допоміжна

1. Чисельні методи: посібник для студентів інженерно-технічних спеціальностей – здобувачів освітнього ступеня бакалавра / І. В. Мірошкіна, О. А. Палагіна. – Черкаси : ЧДТУ, 2017. – 116 с.
2. Чисельні методи: навчальний посібник / Волонтир Л.О, Зелінська О.В., Потапова Н.А., Чіков І.А., Вінницький національний аграрний університет. – Вінниця: ВНАУ, 2020 – 322 с.