

СИЛАБУС НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

1. Загальна інформація про навчальну дисципліну

Повна назва навчальної дисципліни	Чисельні методи в механіці
Повна офіційна назва закладу вищої освіти	Сумський державний університет
Повна назва структурного підрозділу	Факультет технічних систем та енергоефективних технологій. Кафедра комп'ютерної механіки імені Володимира Марцинковського
Розробник(и)	Загорулько Андрій Васильович
Рівень вищої освіти	Перший рівень вищої освіти, НРК – 6 рівень, QF-LLL – 6 рівень, FQ-EHEA – перший цикл
Семестр вивчення навчальної дисципліни	16 тижнів протягом 7-го семестру
Обсяг навчальної дисципліни	Обсяг дисципліни становить 5 кред. ЄКТС, 150 год., з яких 80 год. становить контактна робота з викладачем (32 год. лекцій, 48 год. практичних занять). Самостійна робота студентів - 70 годин.
Мова викладання	Англійська

2. Місце навчальної дисципліни в освітній програмі

Статус дисципліни	Обов'язкова навчальна дисципліна для освітньої програми "Комп'ютерний інжиніринг в механіці"
Передумови для вивчення дисципліни	3d моделювання, CAD системи в машинобудуванні
Додаткові умови	Додаткові умови відсутні
Обмеження	Обмеження відсутні

3. Мета навчальної дисципліни

Метою навчальної дисципліни є досягнення студентами сучасного конструктивного, фундаментального мислення та системи знань основ чисельних методів, методів скінчених елементів, методів граничних елементів і методів скінчених різниць при вирішенні задач механіки суцільного середовища.

4. Зміст навчальної дисципліни

Тема 1 Загальні поняття і класифікація задач обчислювальної механіки. Обчислювальна механіка. Статика і динаміка. Лінійність і нелінійність. Методи дискретизації.
Тема 2 Математичні моделі і чисельні методи. Етапи рішення задачі на ЕОМ. Чисельні методи. Погрішність рішення. Погрішності округлення при обчисленнях на ЕОМ з плаваючою комою.

Тема 3 Інтерполяція і наближення функцій.

Постановка задачі. Поліноміальна інтерполяція. Інтерполяційний багаточлен Лагранжа. Інтерполяційний багаточлен Ньютона. Сплайн-інтерполяція. Середньоквадратична апроксимація. Системи ортогональних поліномів. Метод найменших квадратів.

Тема 4 Чисельне інтегрування.

Постановка задачі. Формули квадратури Ньютона-Котесса. Формула трапецій і формула Симпсона. Складові формули квадратури. Оцінка точності формул квадратури: метод Рунге, метод Ейткена. Формули квадратури Гаусса-Крістоффеля. Формула середніх прямокутників. Стійкість формул квадратури.

Тема 5 Чисельні методи рішення нелінійних рівнянь.

Збіжність методу простої ітерації. Ітераційні методи рішення рівняння з одним невідомим (скалярний випадок). Методи простої ітерації, Ньютона-Рафсона, січних, парабол. Ітераційні методи рішення систем нелінійних рівнянь. Збіжність методу Ньютона.

Тема 6 Методи рішення основних задач лінійної алгебри.

Обумовленість СЛАР. Погрішності. Метод виключення Гауса. Обчислення визначника і зворотної матриці. Метод прогону рішення СЛАР стрічкового вигляду. Матричний прогін. Ітераційні однокрокові методи рішення СЛАР. Достатні умови збіжності. Метод простої ітерації; методи Зейделя, верхньої релаксації, Якобі. Ітераційний метод обертань Якобі знаходження власних векторів і власних значень симетричної матриці.

Тема 7 Задача Коші для звичайних диференціальних рівнянь.

Однокрокові методи. Метод Рунге-Кутта.

Тема 8 Елементи теорії різницевих схем.

Постановка задачі. Нев'язність різницевої схеми. Апроксимація. Стійкість двошарових різницевих схем. Збіжність і порядок точності різницевої схеми. Методи побудови різницевих схем. Консервативні схеми. Інтегро-інтерполяційний метод (метод балансу) побудови різницевих схем. Різницева схема для одновимірного рівняння теплопровідності в обмеженій області. Явна і неявна схеми. Апроксимація. Стійкість в чебишевській нормі. Збіжність. Методи знаходження сіткового рішення. Подовжньо-поперечна різницева схема для рівняння теплопровідності. Різницева схема для рівняння коливань на відрізку. Стійкість. Метод гармонік дослідження стійкості різницевої схеми. Рішення задач механіки рідини скінчено-різницевами методами. Рішення рівняння Нав'є-Стокса для фізичних змінних, для стаціонарного випадку, для нестаціонарного випадку. Рішення задач для фізичних змінних швидкість-тиск. Рівняння для вихору і функції струму. Використання методу скінчених елементів для вирішення задач механіки рідини. Метод Гальоркіна. Метод найменших квадратів. Застосування методу скінчених об'ємів.

Тема 9 Основні поняття і концепція МСЕ для вирішення задач механіки.

Варіанти МСЕ. Процес скінчено-елементного аналізу. Термінологія. Основні кроки МСЕ. Ідеалізація. Явне і неявне моделювання. Дискретизація. Джерела помилки і апроксимація. Загальна схема алгоритму МСЕ. Поняття про скінченні елементи. Визначення. Атрибути елементу. Класифікація скінчених елементів, які використовуються в механіці. Ансамблювання. Граничні умови.

Тема 10 Плоска задача теорії пружності.

Постановка плоскої задачі теорії пружності. Основні поняття. Математична модель. Початкові дані. Шукані функції. Дозволяючи рівняння. Граничні умови. Скінчено-елементне формулювання плоскої задачі теорії пружності: базові співвідношення. Ослаблене формулювання задачі теорії пружності. Повна потенційна енергія тіла. Скінчено-елементна інтерполяція. Виведення СЛАР МСЕ. Принцип мінімуму потенційної енергії. Вивід дозволяючих рівнянь. Трикутний лінійний скінчений елемент: система координат і інтерполяція. Параметричне представлення функцій. Система координат трикутного елемента. Інтерполяційні співвідношення лінійного трикутного елемента. Трикутний лінійний скінчений елемент: виведення розрахункових співвідношень. Перетворення координат. Обчислення часткових похідних. Виведення рівнянь трикутного лінійного скінченого елемента. Інтерполяція переміщень. Кінематичні рівняння. Визначальні співвідношення. Елементні матриці жорсткості. Елементні вектора вузлових сил.

Тема 11 Ізопараметричний підхід в МСЕ.

Початкові поняття. Загальне ізопараметричне формулювання пружного двовимірного елемента. Лінійний ізопараметричний трикутний елемент. Квадратичний ізопараметричний трикутний елемент. Одновимірний квадратичний ізопараметричний елемент. Чотиристоронні двовимірні елементи. Природні координати елемента. Чотиристоронній білінійний елемент. Чотиристоронні елементи вищого порядку. Властивість повноти. Обчислення матриці градієнтів ізопараметричного елемента. Матриця градієнтів. Матриці Якобі. Обмеження на геометрію елементів. Формування матриці жорсткості ізопараметричного елемента. Структура матриці жорсткості. Матриця пружних модулів. Вираз компонент матриці жорсткості елемента. Чисельне інтегрування. Формування векторів вузлових сил ізопараметричного елемента. Структура елементних векторів сил. Обчислення компонент елементного вектора об'ємних сил. Обчислення компонент елементного вектора поверхневих сил. Чисельне інтегрування.

Тема 12 Формування і рішення глобальної системи скінчено-елементних рівнянь.

Структура глобальної матриці жорсткості. Структура глобального вектора вузлових сил. Рішення глобальної системи скінчено-елементних рівнянь. Метод трикутної факторизації Холецкого. Обчислення напружень.

Тема 13 Алгоритм МСЕ для тривимірної задачі теорії пружності.

Вступ. Алгоритм. Кінематичне співвідношення. Формування глобальної алгебраїчної системи рівнянь. Алгоритм МСЕ для динамічної задачі. Розрахунок в'язко-пружних гармонійних коливань. Рішення задач з фізичними і геометричними нелінійностями. Алгоритм рішення контактних задач.

Тема 14 Теоретичні основи методу граничних елементів.

Вступ. Постановка просторової задачі теорії пружності. Виведення інтегрального рівняння задачі. Граничне інтегральне рівняння. Чисельна реалізація методу граничних елементів. Гранично-елементна дискретизація. Формування системи лінійних рівнянь алгебри. Особливості математичного формулювання МГЕ для вирішення плоских задач теорії пружності. Програмна реалізація методу граничних елементів для вирішення плоских задач теорії пружності. Загальна схема алгоритму МГЕ. Приклад застосування методу граничних елементів.

Тема 15 Сучасні програмні засоби скінчено-елементного аналізу і комп'ютерного аналізу динаміки рідини і газу.

Програмні системи. Характеристики програмних комплексів Ansys і Ansys/CFX. Запуск програм, основні меню. Геометричне моделювання елементів конструкцій. Створення скінчено-елементних і скінчено-різницевих сіток. Властивості матеріалів і середовищ. Типи елементів. Типи вирішувачів. Граничні умови. Рішення. Аналіз результатів рішення. Оцінка погрішності рішення. Основи програмування в Ansys і Ansys/CFX. Мови програмування високого рівня: Visual Fortran і C++. Приклади застосування програмних засобів скінчено-елементного і скінчено-різницевого аналізу. Структурний аналіз пружньо-деформованого стану конструкцій, моделювання балочними, стрижньовими, трубчастими і суцільними елементами. Рішення двомірної і тривимірної задач теорії пружності.

Тема 16 Практичне застосування математичних пакетів програм в чисельному моделюванні.

Характеристики основних математичних пакетів: Mathcad, Matlab, Maple, Mathematica. Чисельні методи в Mathcad і Matlab, використання модуля Matlab - Femlab в скінчено-елементному моделюванні.

5. Очікувані результати навчання навчальної дисципліни

Після успішного вивчення навчальної дисципліни здобувач вищої освіти зможе:

РН1	володіти апаратом математичне моделювання у техніці,
РН2	використовувати знання про чисельні методи інтегрування, рішення нелінійних рівнянь, диференціальних рівнянь, методів оптимізації, елементи теорії різницевих схем, основні поняття і концепція МСЕ для вирішення задач механіки,
РН3	використовувати сучасні програмні засоби скінчено-елементного аналізу і комп'ютерного аналізу динаміки рідини і газу,
РН4	практичне застосування математичних пакетів програм в чисельному моделюванні.

6. Роль навчальної дисципліни у досягненні програмних результатів

Програмні результати навчання, досягнення яких забезпечує навчальна дисципліна.

Для спеціальності 131 Прикладна механіка:

ПР1	вибирати та застосовувати для розв'язання задач прикладної механіки придатні математичні методи;
ПР2	використовувати знання теоретичних основ механіки рідин і газів, теплотехніки та електротехніки для вирішення професійних завдань;
ПР3	виконувати розрахунки на міцність, витривалість, стійкість, довговічність, жорсткість деталей машин;
ПР8	знати і розуміти основи інформаційних технологій, програмування, практично використовувати прикладне програмне забезпечення для виконання інженерних розрахунків, обробки інформації та результатів експериментальних досліджень;
ПР9	знати та розуміти суміжні галузі (механіку рідин і газів, теплотехніку, електротехніку, електроніку) і вміти виявляти міждисциплінарні зв'язки прикладної механіки на рівні, необхідному для виконання інших вимог освітньої програми;
ПР12	навички практичного використання комп'ютеризованих систем проектування (CAD), підготовки виробництва (CAM) та інженерних досліджень (CAE);

ПР17	застосовувати комп'ютерні програмні комплекси для розрахунків задач динаміки і міцності, гермомеханіки, тепломасообміну і гідрогазодинаміки та оптимізації технічних систем.
------	--

7. Види навчальних занять та навчальної діяльності

7.1 Види навчальних занять

Тема 1. Загальні поняття і класифікація задач обчислювальної механіки.	
Лк1 "1" (денна)	Обчислювальна механіка. Статика і динаміка. Лінійність і нелінійність.
Пр1 "1" (денна)	Методи дискретизації.
Тема 2. Математичні моделі і чисельні методи.	
Лк2 "2" (денна)	Чисельні методи. Погрішність рішення. Погрішності округлення при обчисленнях на ЕОМ з плаваючою комою.
Пр2 "2" (денна)	Етапи розв'язання задачі на ЕОМ.
Тема 3. Інтерполяція і наближення функцій.	
Лк3 "3" (денна)	Інтерполяція і наближення функцій. Поліноміальна інтерполяція. Інтерполяційний багаточлен Лагранжа. Інтерполяційний багаточлен Ньютона. Сплайн-інтерполяція. Середньоквадратична апроксимація. Системи ортогональних поліномів.
Пр3 "3" (денна)	Метод найменших квадратів.
Тема 4. Чисельне інтегрування.	
Лк4 "4" (денна)	Чисельне інтегрування. Формули квадратури Ньютона-Котесса. Складові формули квадратури. Оцінка точності формул квадратури: метод Рунге, метод Ейткена. Формули квадратури Гаусса-Крістоффеля. Формула середніх прямокутників. Стійкість формул квадратури.
Пр4 "4" (денна)	Формула трапецій і формула Симпсона.
Тема 5. Чисельні методи рішення нелінійних рівнянь.	
Лк5 "5" (денна)	Чисельні методи розв'язання нелінійних рівнянь. Збіжність методу простої ітерації. Ітераційні методи розв'язання рівняння з одним невідомим (скалярний випадок).

<p>Пр5 "5" (денна)</p> <p>Методи простої ітерації, Ньютона-Рафсона, січних, парабол. Ітераційні методи розв'язання систем нелінійних рівнянь. Збіжність методу Ньютона.</p>
<p>Тема 6. Методи рішення основних задач лінійної алгебри.</p>
<p>Лк6 "6" (денна)</p> <p>Методи розв'язання основних задач лінійної алгебри. Обумовленість СЛАР. Погрішності. Метод виключення Гауса. Обчислення визначника і зворотної матриці. Метод прогону рішення СЛАР стрічкового вигляду. Матричний прогін. Методи Зейделя, верхньої релаксації, Якобі. Ітераційний метод обертань Якобі знаходження власних векторів і власних значень симетричної матриці.</p>
<p>Пр6 "6" (денна)</p> <p>Ітераційні однокрокові методи рішення СЛАР. Достатні умови збіжності. Метод простої ітерації.</p>
<p>Тема 7. Задача Коші для звичайних диференціальних рівнянь.</p>
<p>Лк7 "7" (денна)</p> <p>Задача Коші для звичайних диференціальних рівнянь. Однокрокові методи.</p>
<p>Пр7 "7" (денна)</p> <p>Метод Рунге-Кутта.</p>
<p>Тема 8. Елементи теорії різницевих схем.</p>
<p>Лк8 "8" (денна)</p> <p>Елементи теорії різницевих схем. Нев'язність різницевої схеми. Апроксимація. Стійкість двохарових різницевих схем. Збіжність і порядок точності різницевої схеми. Методи побудови різницевих схем. Консервативні схеми. Інтегро-інтерполяційний метод (метод балансу) побудови різницевих схем. Різницева схема для одновимірного рівняння теплопровідності в обмеженій області. Явна і неявна схеми. Апроксимація. Застосування методу скінчених об'ємів.</p>
<p>Пр8 "8" (денна)</p> <p>Розв'язання рівняння Нав'є-Стокса для фізичних змінних, для стаціонарного випадку, для нестаціонарного випадку. Рішення задач для фізичних змінних швидкість-тиск.</p>
<p>Тема 9. Основні поняття і концепція МСЕ для вирішення задач механіки.</p>
<p>Лк9 "9" (денна)</p> <p>Варіанти МСЕ. Процес скінчено-елементного аналізу. Основні кроки МСЕ. Ідеалізація. Явне і неявне моделювання. Дискретизація. Джерела помилки і апроксимація. Поняття про скінченні елементи. Атрибути елементу. Класифікація скінчених елементів, які використовуються в механіці. Ансамблювання.</p>
<p>Пр9 "9" (денна)</p> <p>Загальна схема алгоритму МСЕ. Граничні умови.</p>
<p>Тема 10. Плоска задача теорії пружності.</p>

Лк10 "10" (денна)

Постановка плоскої задачі теорії пружності. Математична модель. Початкові дані. Шукані функції. Дозволяючи рівняння. Граничні умови. Скінчено-елементне формулювання плоскої задачі теорії пружності: базові співвідношення. Ослаблене формулювання задачі теорії пружності. Повна потенційна енергія тіла. Скінчено-елементна інтерполяція. Виведення СЛАР МСЕ. Принцип мінімуму потенційної енергії. Вивід дозволяючих рівнянь. Трикутний лінійний скінчений елемент: система координат і інтерполяція. Параметричне представлення функцій. Система координат трикутного елемента. Інтерполяційні співвідношення лінійного трикутного елемента.

Пр10 "10" (денна)

Трикутний лінійний скінчений елемент: виведення розрахункових співвідношень. Перетворення координат. Обчислення часткових похідних. Виведення рівнянь трикутного лінійного скінченого елемента. Інтерполяція переміщень. Кінематичні рівняння. Визначальні співвідношення. Елементні матриці жорсткості. Елементні вектора вузлових сил.

Тема 11. Ізопараметричний підхід в МСЕ.

Лк11 "11" (денна)

Ізопараметричний підхід в МСЕ. Загальне ізопараметричне формулювання пружного двовимірного елемента. Лінійний ізопараметричний трикутний елемент. Квадратичний ізопараметричний трикутний елемент. Одновимірний квадратичний ізопараметричний елемент. Чотиристоронні двовимірні елементи. Природні координати елемента. Чотиристоронній білінійний елемент. Чотиристоронні елементи вищого порядку. Формування матриці жорсткості ізопараметричного елемента. Структура матриці жорсткості. Матриця пружних модулів. Вираз компонент матриці жорсткості елемента.

Пр11 "11" (денна)

Чисельне інтегрування. Формування векторів вузлових сил ізопараметричного елемента. Структура елементних векторів сил. Обчислення компонент елементного вектора об'ємних сил. Обчислення компонент елементного вектора поверхневих сил. Чисельне інтегрування.

Тема 12. Формування і рішення глобальної системи скінчено-елементних рівнянь.

Лк12 "12" (денна)

Формування і рішення глобальної системи скінчено-елементних рівнянь. Структура глобальної матриці жорсткості. Структура глобального вектора вузлових сил.

Пр12 "12" (денна)

Розв'язання глобальної системи скінчено-елементних рівнянь. Метод трикутної факторізації Холецкого. Обчислення напружень.

Тема 13. Алгоритм МСЕ для тривимірної задачі теорії пружності.

Лк13 "13" (денна)

Алгоритм МСЕ для тривимірної задачі теорії пружності. Алгоритм. Кінематичне співвідношення. Формування глобальної алгебраїчної системи рівнянь.

Пр13 "13" (денна)

Алгоритм МСЕ для динамічної задачі. Розрахунок в'язко-пружних гармонійних коливань. Розв'язання задач з фізичними і геометричними нелінійностями.

<p>Пр14 "14" (денна)</p> <p>Алгоритм розв'язання контактних задач.</p>
<p>Тема 14. Теоретичні основи методу граничних елементів.</p>
<p>Лк14 "14" (денна)</p> <p>Теоретичні основи методу граничних елементів. Постановка просторової задачі теорії пружності. Виведення інтегрального рівняння задачі. Граничне інтегральне рівняння. Чисельна реалізація методу граничних елементів. Гранично-елементна дискретизація. Формування системи лінійних алгебраїчних рівнянь. Особливості математичного формулювання МГЕ для вирішення плоских задач теорії пружності.</p>
<p>Пр15 "15" (денна)</p> <p>Програмна реалізація методу граничних елементів для вирішення плоских задач теорії пружності. Загальна схема алгоритму МГЕ.</p>
<p>Пр16 "16" (денна)</p> <p>Приклад застосування методу граничних елементів.</p>
<p>Тема 15. Сучасні програмні засоби скінчено-елементного аналізу і комп'ютерного аналізу динаміки рідини і газу.</p>
<p>Лк15 "15" (денна)</p> <p>Сучасні програмні засоби скінчено-елементного аналізу і комп'ютерного аналізу динаміки рідини і газу. Характеристики програмних комплексів Ansys і Ansys/CFX. Запуск програм, основні меню. Геометричне моделювання елементів конструкцій. Створення скінчено-елементних і скінчено-різницевих сіток. Властивості матеріалів і середовищ. Типи елементів. Типи вирішувачів. Граничні умови. Розв'язання. Аналіз результатів розв'язання. Оцінка похибки розв'язання.</p>
<p>Пр17 "17" (денна)</p> <p>Основи програмування в Ansys і Ansys/CFX.</p>
<p>Пр18 "18" (денна)</p> <p>Мови програмування високого рівня: Visual Fortran і C++.</p>
<p>Пр19 "19" (денна)</p> <p>Приклади застосування програмних засобів скінчено-елементного і скінчено-різницевого аналізу.</p>
<p>Пр20 "20" (денна)</p> <p>Структурний аналіз пружньо-деформованого стану конструкцій, моделювання балочними, стрижньовими, трубчастими і суцільними елементами. Розв'язання двомірної і тривимірної задач теорії пружності.</p>
<p>Тема 16. Практичне застосування математичних пакетів програм в чисельному моделюванні.</p>
<p>Лк16 "16" (денна)</p> <p>Практичне застосування математичних пакетів програм в чисельному моделюванні.</p>

Пр21 "21" (денна) Характеристики основних математичних пакетів: Mathcad, Matlab, Maple, Mathematica.
Пр22 "22" (денна) Чисельні методи в Mathcad і Matlab.
Пр23 "23" (денна) Використання модуля Matlab - Femlab в скінчено-елементному моделюванні.
Пр24 "24" (денна) Використання модуля Matlab - Femlab в скінчено-елементному моделюванні.

7.2 Види навчальної діяльності

НД1	Підготовка до лекцій
НД2	Робота на практичних заняттях над індивідуальними і комплексними задачами, їх захист у виді письмового звіту або презентації
НД3	Виконання розрахункової роботи - яка включає комп'ютерне моделювання елементів конструкцій у програмі Ansys (тема 15) та комп'ютерне моделювання динамічних систем у програмі Matlab (тема 16) та охоплює усі теми курсу.

8. Методи викладання, навчання

Дисципліна передбачає навчання через:

МН1	Інтерактивні лекції, лекції-обговорення та лекції-візуалізації надають студентам широку теоретичну базу з чисельних методів в механіці, що є основою для самостійного навчання здобувачів вищої освіти (РН 1, РН2, РН3).
МН2	Практичні заняття, використовуючи індивідуальну та групову форму роботи над аналізом, будовою математичних моделей та розв'язанням прикладних задач, а також практики-відеоконференції, використання віртуального моделювання під час яких студенти повторюють роботу викладача стосовно до конкретної задачі, отримуючи навички роботи з певним програмним комплексом. Практичні заняття доповнюють лекційний матеріал і надають студентам можливість застосовувати теоретичні знання на практичних прикладах (РН 2, РН 3).
МН3	Практико-орієнтоване навчання - індивідуальна або комплексна розрахункова робота (РР) передбачає розв'язок практичних задач з чисельних методів в механіці, використовуючи сучасні програмні комплекси (РН1 – РН3).

Самостійному навчанню сприятиме підготовка до лекцій, попереднє ознайомлення з питанням, що винесено на обговорення, до практичних занять, індивідуальна чи колективна робота в невеликих групах при оволодінні навичок роботи з сучасними комп'ютерними комплексами, підготовки презентацій, що будуть представлені іншим студентам, матеріалу до відео конференцій, участь у обговоренні, аналіз питання, підготовка до звіту про виконання завдань практико-орієнтованого навчання. Під час підготовки до презентацій за результатами практико-орієнтованого навчання студенти розвиватимуть навички самостійного навчання, критичного аналізу, синтезу та аналітичного мислення. Самостійній роботі студента також сприятиме використання електронних засобів навчання (mix.sumdu.edu.ua, osw.mit.edu та інші). В електронному варіанті лекцій матеріал подається англійською мовою, що дає змогу засвоєння англомовної термінології з даного предмету.

Під час проведення занять студенти отримують навички комунікації, вміння працювати в команді, здатність логічно і системно мислити, креативність; навички письмової комунікації, аргументовано висловлювати свої думки. Підготовка до виконання РГР допоможе студентам розвивати та реалізувати навички логічного та системного мислення.

9. Методи та критерії оцінювання

9.1. Критерії оцінювання

Шкала оцінювання ECTS	Визначення	Чотирибальна національна шкала оцінювання	Рейтингова бальна шкала оцінювання
A	Відмінне виконання лише з незначною кількістю помилок	5 (відмінно)	$90 \leq RD \leq 100$
B	Вище середнього рівня з кількома помилками	4 (добре)	$82 \leq RD < 89$
C	Загалом правильна робота з певною кількістю помилок	4 (добре)	$74 \leq RD < 81$
D	Непогано, але зі значною кількістю недоліків	3 (задовільно)	$64 \leq RD < 73$
E	Виконання задовольняє мінімальні критерії	3 (задовільно)	$60 \leq RD < 63$
FX	Можливе повторне складання	2 (незадовільно)	$35 \leq RD < 59$
F	Необхідний повторний курс з навчальної дисципліни	2 (незадовільно)	$0 \leq RD < 34$

9.2 Методи поточного формативного оцінювання

МФО1	Опитування та усні коментарі викладача за його результатами
МФО2	Самостійне виконання студентами ситуаційних вправ на практичних заняттях та їх обговорення
МФО3	Своєчасне виконання розрахункових робіт

9.3 Методи підсумкового сумативного оцінювання

МСО1	Оцінювання письмових робіт
МСО2	Виконання індивідуальних розрахунково-аналітичних завдань
МСО3	Реферат (підготовка, презентація, захист)
МСО4	Розгляд розв'язків тестових прикладів (тести)
МСО5	Розв'язання практичних завдань (звіт)
МСО6	Індивідуальне завдання (виконання, звіт)

Контрольні заходи:

7 семестр	100 балів
МСО1. Оцінювання письмових робіт	30
	30
МСО2. Виконання індивідуальних розрахунково-аналітичних завдань	40

		40
МСО3. Реферат (підготовка, презентація, захист)		30
		30

Контрольні заходи в особливому випадку:

7 семестр		100 балів
МСО4. Розгляд розв'язків тестових прикладів (тести)		30
		30
МСО5. Розв'язання практичних завдань (звіт)		30
		30
МСО6. Індивідуальне завдання (виконання, звіт)		40
		40

Форма підсумкового контролю – модульний контроль, що проводиться у письмовій формі за тестовими технологіями. Для отримання загальної позитивної оцінки з дисципліни студент повинен набрати не менше ніж 60% з кожного виду оцінювання. Студент, який протягом навчального періоду виконав всі заплановані види навчальної роботи та за наслідками модульних атестацій набрав необхідну, яка відповідає позитивній оцінці, кількість рейтингових балів не менше 60, отримує семестрову оцінку у відповідності до набраних рейтингових балів. Складання заходу підсумкового семестрового контролю з метою підвищення позитивної оцінки не здійснюється. Студент, який протягом поточної роботи не набрав кількість рейтингових балів, що відповідає позитивній оцінці, але не менше 35 балів, зобов'язаний скласти захід підсумкового семестрового контролю, яке здійснюється після завершення останнього модульно-атестаційного циклу у семестрі або екзаменаційної сесії, якщо вона передбачена, за додатковою відомістю семестрової атестації (першою незадовільною оцінкою вважається та, що отримана за наслідками модульних атестацій, яка виставляється в основну відомість семестрової атестації). Студент має право на два складання ПСК: викладачу та комісії. У разі незадовільного складання підсумкового семестрового контролю комісії студент отримує оцінку «незадовільно» («F» за шкалою ECTS) і відраховується з університету. При успішному складанні заходу підсумкового семестрового контролю використовується оцінка «задовільно», яка засвідчує виконання студентом мінімальних вимог без урахування накопичених балів («E» за шкалою ECTS) із визначенням рейтингового балу 60. Студент, який за наслідками модульних атестацій набрав менше 35 рейтингових балів, не допускається до підсумкового семестрового контролю, отримує оцінку «незадовільно» (за шкалою ECTS – «F») і відраховується з університету.

10. Ресурсне забезпечення навчальної дисципліни

10.1 Засоби навчання

ЗН1	Використання необхідних креслень машин та механізмів
ЗН2	Використання комп'ютерного обладнання
ЗН3	Використання програмних комплексів (Autodesk Inventor Student 2019, ANSYS Academic Research CFD 12.1, ANSYS Student 19.2, OpenFoam 5.0, Sailab 6.0.2; Xcos)
ЗН4	Використання мультимедійної апаратури

10.2 Інформаційне та навчально-методичне забезпечення

Основна література	
1	Чисельні методи в задачах механіки [Текст] : метод. посіб. Ч.1 : Теоретична та прикладна механіка / уклад. Г.М. Зражевський. – К. : Київський нац. ун-т ім. Т. Шевченка, 2015. – 99 с.
2	Чисельні методи в комп'ютерних науках [Текст] : навч. посіб. Т.2 / В. А. Андруник, В. А. Висоцька, В. В. Пасічник [та ін.] ; за ред. В.В. Пасічника. – Львів : Новий Світ-2000, 2018. – 536 с.
3	Чисельні методи в комп'ютерних науках [Текст] : навч. посіб. Т.1 / В. А. Андруник, В. А. Висоцька, В. В. Пасічник [та ін.]. – Львів : Новий Світ-2000, 2017. – 470 с.
4	Whiteley, Jonathan Finite Element Methods [Текст] : A Practical Guide / Jonathan Whiteley ; by Jonathan Whiteley. – 1st ed. 2017. – Cham : Springer International Publishing, 2017. – XI, 232 p.
5	Popov, Valentin L Contact Mechanics and Friction [Текст] : Physical Principles and Applications / Valentin L Popov ; by Valentin L. Popov. – 2nd ed. 2017. – Berlin, Heidelberg : Springer Berlin Heidelberg, 2017. – XVII, 391 p.
Допоміжна література	
6	Nagar, Sandeep Introduction to Scilab [Текст] : For Engineers and Scientists / Sandeep Nagar ; by Sandeep Nagar. – 1st ed. 2017. – Berkeley, CA : Apress, 2017. – XV, 193 p.