



Системи автоматизованих інженерних розрахунків

Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	<i>Другий (магістерський)</i>
Галузь знань	<i>G - Інженерія, виробництво та будівництво</i>
Спеціальність	<i>G9 Прикладна механіка</i>
Освітня програма	<i>Технології машинобудування</i>
Статус дисципліни	<i>Вибіркова</i>
Форма навчання	<i>очна(денна)/заочна/дистанційна/змішана</i>
Рік підготовки, семестр	<i>2 семестр</i>
Обсяг дисципліни	<i>4 кредити (всього загальний)</i>
Семестровий контроль/ контрольні заходи	<i>Залік</i>
Розклад занять	<i>http://rozklad.kpi.ua/</i>
Мова викладання	<i>Українська</i>
Інформація про керівника курсу / викладачів	Лектор: к.т.н., доц. Гладський М.М., gladsky@gmail.com Практичні: к.т.н., доц. Гладський М.М., gladsky@gmail.com Лабораторні: -
Розміщення курсу	<i>https://classroom.google.com/c/NTUwNTAyNzIxNDA3?cjc=bb4xra4</i>

Програма навчальної дисципліни

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

Дана дисципліна призначена для підготовки висококваліфікованих фахівців, здатних вирішувати базові науково-технічні задачі в області конструкторсько-технологічного забезпечення машинобудівних виробництв, які застосовують різні види обробки при виготовленні різних деталей, які використовуються у світовій економіці.

Метою дисципліни є ознайомлення студентів із основними принципами та підходами методу скінченних елементів та набуття практичних навичок із використання системи автоматизованого аналізу деталей так конструкцій. Також передбачається підготовка студентів до самостійної роботи з планування, виконання та аналізу результатів наукових досліджень.

Також студент зможе професійно проводити: статичний аналіз деталей та складальних одиниць, оптимізація форми за допомогою дослідження проектування, дослідження руху складальної одиниці, створення анімації роботи механізму та дослідження його руху.

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

Для вивчення даної дисципліни необхідно вивчити наступні дисципліни: інженерна графіка, механіка-матеріалів і конструкцій, теорія механізмів і машин, технологія конструкційних матеріалів.

3. Зміст навчальної дисципліни

Назви розділів і тем	Кількість (кредитів) годин				
	Всього	у тому числі			
		Лекції	Практичні	Лабораторні	СРС
Тема 1. Теорія напружено-деформованого стану	18	4	-		10
Тема 2. Метод скінченних елементів	18	4	-		10
Тема 3. Використання методу скінченних елементів для розрахунку стержнів і балок	18	4	4		10
Тема 4. Двовимірні скінченні елементи	16	4	4		8
Тема 5. Скінченно-елементне моделювання пластин та оболонок	16	4	6		8
Тема 6. Об'ємні скінченні елементи	16	4	4		8
Тема 7. Використання ізопараметричних елементів	16	4	4		8
Тема 8. Стійкість	16	4	6		8
Тема 9. Особливості використання методу скінченних елементів	16	4	8		8
Залік					
Всього годин	150	36	36		78

4. Навчальні матеріали та ресурси

Основна:

1. Чисельні методи розв'язання прикладних задач :навч. посіб. / О. А. Гончаров, Л. В. Васильєва, А. М. Юнда. – Суми : Сумський державний університет, 2020. – 142 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. Мартиненко Г. Ю. Комп'ютерне моделювання елементів конструкцій та визначення їх міцності при статичних навантаженнях : навч. посібник / Г. Ю. Мартиненко, Л. В. Розова ; Нац. техн. ун-т "Харків. політехн. ін-т". – Харків : Естет Принт, 2021. – 242 с.
4. Дубенець В.Г., Хільчевський В.В., Савченко О.В. Д 79 Основи методу скінченних елементів: Навчальний посібник. – Чернігів: ЧДТУ, 2007. – 288 с.

Додаткова:

5. Автоматизація інженерних розрахунків в машинобудуванні : метод. вказівки до викон. лаб. робіт студ. спец. 131 «Прикладна механіка» / [уклад. О.І. Скібінський, В.М. Селехова] ; М-во освіти і науки України, Центральноукр. нац. техн. ун-т, каф. технології машинобудування. – Кропивницький : ЦНТУ, 2018. – 64 с.
6. 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. Методика опанування навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Надається інформація (за розділами, темами) про всі навчальні заняття (лекції, практичні, семінарські, лабораторні) та надаються рекомендації щодо їх засвоєння (наприклад, у формі календарного плану чи деталізованого опису кожного заняття та запланованої роботи).

5.1. Лекційні заняття

№ з/п	Назва теми лекції та перелік основних питань (перелік дидактичних засобів, посилання на літературу та завдання на СРС)
1	Лекція 1 Розділ 1. Теорія напружено-деформованого стану Тема 1.1. Навантаження і напруження Тема 1.2. Переміщення і деформації [1, 4, 6]
2	Лекція 2 Тема 1.3. Основні рівняння теорії пружності: статичні рівняння, геометричні рівняння, умови сумісності деформацій, фізичні залежності. Тема 1.4. Потенціальна енергія деформації. Тема 1.5. Загальна постановка задачі механіки деформівного твердого тіла [2, 4, 6]
3	Лекція 3 Розділ 2. Метод скінченних елементів Тема 2.1. Локальні функції і перехід від класичного методу Рітца до методу скінченних елементів [3, 4, 6].
4	Лекція 4 Тема 2.2. Алгоритм методу скінченних елементів. Дискретизація конструкції, побудова матриць жорсткості елементів, синтез скінченно-елементної моделі конструкції, розв'язок систем рівнянь МКЕ, обробка результатів [3, 4, 6].
5	Лекція 5 Розділ 3. Використання методу скінченних елементів для розрахунку стержнів і балок Тема 3.1. Побудова матриць жорсткості Тема 3.2. Скінченні елементи балок, які працюють на згин: елемент балки при плоскому згині, елемент стержня, що працює при складному навантаженні, матриці жорсткості елементів у глобальних координатах. [1, 2, 3].
6	Лекція 6 Тема 3.3. Синтез скінченно-елементних моделей стержневих конструкцій Тема 3.4. Алгоритм використання методу скінченних елементів для аналізу стержневих систем.[3, 4, 5].
7	Лекція 7 Розділ 4. Двовимірні скінченні елементи

	Тема 4.1. Основні залежності плоскої задачі напруженого стану. Тема 4.2. Трикутні скінченні елементи [4, 5].
8	Лекція 8 Тема 4.3. Прямокутний елемент із чотирма вузлами Тема 4.4. Використання автоматичної побудови сітки скінченних елементів для плоских пластинчатих конструкцій.[2, 4].
9	Лекція 9 Розділ 5. Скінченно-елементне моделювання пластин та оболонок. Тема 5.1. Основні рівняння згину прямокутних пластин. Тема 5.2. Застосування МСЕ до розрахунку пластин. Тема 5.3. Скінченно-елементні моделі оболонок обертання [1, 2, 4].
10	Лекція 10 Розділ 6. Об'ємні скінченні елементи. Тема 6.1. Тетраедральний скінченний елемент [3, 4].
11	Лекція 11 Тема 6.1. Об'ємний елемент у формі паралелепіпеда Тема 6.2. Кільцевий елемент з трикутним перерізом [1,2,4].
12	Лекція 12 Розділ 7. Використання ізопараметричних елементів Тема 7.1. Плоскі скінченні елементи [1,2].
13	Лекція 13 Тема 7.2. Застосування ізопараметричних елементів у об'ємних задачах Тема 7.3. Використання перетворень координат для побудови сітки скінченних елементів [1, 2].
14	Лекція 14 Розділ 8. Стійкість Тема 8.1. Стійкість прямолінійного стержня під дією статичних сил [4].
15	Лекція 15 Тема 8.2. Енергетичний метод визначення критичних сил Тема 8.3. Застосування методу скінченних елементів. Визначення критичної сили для стержня, навантаженого поздовжньою силою. [4, 5, 6].
16	Лекція 16 Розділ 9. Особливості використання методу скінченних елементів Тема 9.1. Поняття про метод суперелементів. розділення конструкції на суперелементи. Одержання матриць жорсткості елементів на кожному з рівнів. Виключення частини узагальнених координат для підконструкцій. [4].
17	Лекція 17 Тема 9.2. Джерела похибок. Похибки математичної моделі МСЕ. Похибки обчислень

	<i>Тема 9.3. Збіжність методу скінченних елементів [2, 3, 4].</i>
18	<i>Лекція 18 Розділ 10. Програмна реалізація методу скінченних елементів. Сучасні програмні продукти. Особливості використання.</i>

5.2 Практичні заняття

Практичні заняття охоплюють основні теми лекційного матеріалу і розглядають питання практичного застосування отриманих знань. Їх тематика така:

Тема 3. Використання методу скінченних елементів для розрахунку стержнів і балок

Тема 4. Двовимірні скінченні елементи

Тема 5. Скінченно-елементне моделювання пластин та оболонок

Тема 6. Об'ємні скінченні елементи

Тема 7. Використання ізопараметричних елементів

Тема 8. Стійкість

Тема 9. Особливості використання методу скінченних елементів

<i>№ з/п</i>	<i>Назва лабораторної роботи (комп'ютерного практикуму)</i>	<i>Кількість ауд. годин</i>
1	<i>Тема 3. Розрахунок напружено-деформованого стану ферми.</i>	4
2	<i>Тема 4, 5; Розрахунок напружено- деформованого стану пластини</i>	4
3	<i>Тема 6; Розрахунок напружено- деформованого стану тривимірної деталі</i>	6
4	<i>Тема 7; Розрахунок напружено- деформованого стану серединної поверхні</i>	4
5	<i>Тема 7; Розрахунок підпертої оболонки</i>	4
6	<i>Тема 8; Стійкість несучого елементу конструкції. Модальний аналіз консольно-закріпленої пластини.</i>	6
7	<i>Тема 9; Моделювання нестационарних навантажень. Використання конекторів. Розрахунок композитних панелей.</i>	8

5.3. Лабораторні заняття

Не передбачені

5.4. Індивідуальні завдання

Не передбачено.

5.5. Контрольні роботи

МКР за розділами 1, 2, 3, 4.

6. Самостійна робота студента

№ з/п	Назва теми, при підготовці до аудиторних занять	Кількість годин СРС
1	Розділ 1. ТЕОРІЯ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ. Тема 1.1, 1.2. Навантаження і напруження. Тензор напружень. Головні напруження і головні площадки. Переміщення і деформації. Матриця тензора деформацій. Шаровий тензор деформацій. [1,2,4].	5
2	Розділ 1. ТЕОРІЯ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ. Тема 1.3, 1.4, 1.5: Переміщення і деформації. Основні рівняння теорії пружності. Основні рівняння теорії пружності. Геометричні рівняння. Умови сумісності деформацій. Фізичні залежності. Фізичні залежності. Загальна постановка задачі механіки деформівного твердого тіла. Варіаційна постановка задачі механіки деформівного твердого тіла. Метод Рітца. Варіаційний принцип Гамільтона-Остроградського. Методи зважених нев'язок .[2,4].	5
3	Розділ 2. МЕТОД СКІНЧЕННИХ ЕЛЕМЕНТІВ Тема 2.1. Локальні функції і перехід від класичного методу Рітца до методу скінченних елементів. Скінченно-елементна модель стержня і окремий скінченний елемент. Структура матриці жорсткості системи. Скінченно-елементна модель стержня і окремий скінченний елемент .[2, 4].	5
4	Тема 2.2. Алгоритм методу скінченних елементів. Дискретизація конструкції. Побудова матриць жорсткості елементів. Глобальна і локальна нумерації вузлових переміщень. Синтез скінченно-елементної моделі конструкції. Розв'язок систем рівнянь МСЕ. Обробка результатів [1, 2, 3, 4].	5
5	Розділ 3. ВИКОРИСТАННЯ МСЕ ДЛЯ РОЗРАХУНКУ СТЕРЖНІВ І СТЕРЖНЕВИХ КОНСТРУКЦІЙ Тема 3.1. Побудова матриць жорсткості і зовнішніх сил для стержневих елементів. Елементи, які працюють на розтяг-стиск. Елемент, що працює на кручення. Елемент балки при плоскому згині. Елемент стержня, який працює на згин із розтягом-стиском. Матриці жорсткості елементів у глобальних координатах. Елемент стержня, який працює на згин, розтяг-стиск і кручення Тема 3.2. Елемент стержня, який працює на згин, розтяг-стиск і кручення. [1, 2, 3].	5
6	Тема 3.3, 3.4. Алгоритм використання методу скінченних елементів для аналізу стержневих систем. Приклади розрахунку стержневих систем. Визначення внутрішніх сил й переміщень у	5

	статично невизначуваному стержні. Визначення сили і переміщення поперечних перерізів для стержня. Визначення прогинів і внутрішніх сил у статично невизначуваній балці. Визначення внутрішніх сил і переміщень у рамі. .[1, 2, 4].	
7	РОЗДІЛ 4. ДВОВИМІРНІ СКІНЧЕННІ ЕЛЕМЕНТИ ПРИ ПЛОСКОМУ НАПРУЖЕНОМУ СТАНІ Тема 4.1., 4.2. Основні залежності плоскої задачі напруженого стану. Плоска деформація. Трикутні скінченні елементи. Плоский трикутний елемент. [1, 2, 4].	4
8	Тема 4.3. Прямокутний елемент із чотирма вузлами. Визначення вузлових переміщень і напружень для пластини, завантаженої силою в її площині. Визначення переміщення вузлів і напруження у пластині з використанням прямокутних скінченних елементів. Тема 4.4. Використання автоматичної побудови сітки скінченних елементів для плоских пластинчатих конструкцій. Визначення напружень у пластині, навантаженої силою у її площині. Визначення напружень у перерізі стержня при крученні .[1, 2, 4, 5].	4
9	Розділ 5. СКІНЧЕННО-ЕЛЕМЕНТНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПЛАСТИН І ОБОЛОНОК. Тема 5.1. Основні рівняння згину прямокутних пластин. Схеми закріплень. [1, 2, 4]. Тема 5.2. Застосування МСЕ до розрахунку пластин. [1, 4]. Тема 5.3. Скінченно-елементні моделі оболонок обертання. Конічний елемент оболонки. Визначення прогину у пластинах прямокутної форми. Визначення переміщення точок у середньому перерізі осесиметричної оболонки при навантаженні внутрішнім тиском [1, 2, 5, 4].	4
10	Розділ 6. ОБ'ЄМНІ СКІНЧЕННІ ЕЛЕМЕНТИ. МОДЕЛЮВАННЯ МАСИВІВ Тема 6.1. Тетраедральний скінченний елемент. Визначення напруження у кільцевій деталі. Розрахунок плоского напруженого стану [1,4].	4
11	Тема 6.2 Об'ємний елемент у формі паралелепіпеда Тема 6.3. Кільцевий елемент з трикутним перерізом. Переріз кільцевого елемента. Приведення навантаження до вузлів. [1,2,4].	4
12	РОЗДІЛ 7. ВИКОРИСТАННЯ ІЗОПАРАМЕТРИЧНИХ ЕЛЕМЕНТІВ Тема 7.1. Зв'язок між прямокутною і полярною системами координат. Плоскі скінченні елементи. Розміщення точок інтегрування. [1,4].	4

13	Тема 7.2. Застосування ізопараметричних елементів у об'ємних задачах. Напруження і деформації в осесиметричному тілі. Визначення переміщення для пластини, навантаженої у її площині. Тема 7.2. Використання перетворень координат для побудови сітки скінченних елементів [1, 4].	4
14	РОЗДІЛ 8. СТІЙКІСТЬ Тема 8.1. Стійкість прямолінійного стержня під дією статичних сил. Дія стискаючої сили на стержень. Форми кривої згину. Дія поздовжньої сили на консольний стержень. [1, 4].	4
15	Тема 8.2. Енергетичний метод визначення критичних сил. Тема 8.3. Застосування методу скінченних елементів. Граничні умови для стержня на шарнірних опорах. [1, 4].	4
16	Розділ 9. Особливості використання методу скінченних елементів Тема 9.1. Поняття про метод суперелементів. розділення конструкції на суперелементи. Одержання матриць жорсткості елементів на кожному з рівнів. Виключення частини узагальнених координат для підконструкцій. [4].	4
17	Тема 9.2. Джерела похибок. Похибки математичної моделі МСЕ. Похибки обчислень Тема 9.3. Збіжність методу скінченних елементів [2, 3, 4].	4
18	Розділ 10. Програмна реалізація методу скінченних елементів. Сучасні програмні продукти. Особливості використання. [3, 4, 5, 6].	4

Політика та контроль

7. Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

- правила відвідування занять (як лекцій, так і практичних/лабораторних) регламентується: «Положення про організацію освітнього процесу в КПІ ім. Ігоря Сікорського» <https://osvita.kpi.ua/node/39>; «Положення про систему внутрішнього забезпечення якості вищої освіти в КПІ ім. Ігоря Сікорського» <https://osvita.kpi.ua/node/121>;
- правила поведінки на заняттях (активність, підготовка коротких доповідей чи текстів, відключення телефонів, використання засобів зв'язку для пошуку інформації на гугл-диску викладача чи в інтернеті тощо) регламентується «Положення про організацію освітнього процесу в КПІ ім. Ігоря Сікорського» <https://osvita.kpi.ua/node/39>, ;
- правила захисту лабораторних робіт; кожен студент особисто здає лабораторні роботи;
- правила захисту індивідуальних завдань; кожен студент особисто здає індивідуальні роботи ;

- в даному кредитному модулі наявні тільки заохочувальні бали, які студент може отримати на добровільній основі виконуючі певний перелік додаткових завдань пов'язаних з тематикою кредитного модуля;
- політика дедлайнів та перескладань, регламентується «Положення про поточний, календарний та семестровий контроль результатів навчання в КПІ ім. Ігоря Сікорського» <https://osvita.kpi.ua/node/32>, «Положення про систему оцінювання результатів навчання в КПІ ім. Ігоря Сікорського» <https://osvita.kpi.ua/node/37> ;
- політика щодо академічної доброчесності регламентується «Положення про систему запобігання академічного плагиату в КПІ ім. Ігоря Сікорського» <https://osvita.kpi.ua/node/47>; положенням «Положення про вирішення конфліктних ситуацій в КПІ ім. Ігоря Сікорського» https://osvita.kpi.ua/2020_7-170;

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

Розподіл навчального часу за видами занять і завдань з дисципліни згідно з робочим навчальним планом Таблиця 8.1.

Семестр	Всього	Розподіл за семестрами та видами занять				МКР	РГР	Залік
		Лек.	Прак.	Лаб.	СРС			
5	150	36	36	0	78	+	-	+
Всього	150	36	36	0	78	+	-	+

Система рейтингових (вагових) балів та критерії оцінювання

8.1. Практичні роботи (r1)

Ваговий бал однієї практичної роботи становить 4 балів (табл.8.2). Максимальна кількість балів за всі практичні роботи: $r1 = 7 \text{ роботи} \times 7 \text{ балів} = 49 \text{ балів}$.

Максимальна кількість заохочувальних +3 бали за всі практичні заняття.

Рейтингові бали за одну практичну роботу Таблиця 8.2

Бали	Критерій оцінювання
11,00	Зауважень до звіту нема, є відповіді на всі запитання
9,90	Несуттєві зауваження до звіту, відповіді на більшість запитань
8,70	Зауваження до отриманих результатів, відповідь на частину питань
7,60	Звіт має помилки, відповіді лише на окремі питання
5,80	Робота виконана, отримано вірні результати, але не захищено.
0,00	Робота не виконана, звіт відсутній

8.2. Модульний контроль (r2)

Модульна контрольна робота складається з чотирьох питань МКР яку проводять перед першою атестацією та наприкінці навчального семестру. Ваговий бал МКР становить 12 балів. Максимальна кількість балів за дві модульні контрольні роботи складає: $r2 = 12 \text{ бали} \times 1 \text{ мод.контр. роботи} = 12 \text{ балів}$.

Рейтингові бали МКР Таблиця 8.3

Бали	Критерій оцінювання
23,0	Вірна відповідь більш ніж на 90 % питань
21	Вірна відповідь на 90 % питань

18	Вірна відповідь на 80 % питань
15	Вірна відповідь на 70 % питань
12	Вірна відповідь на 60 % питань
0,0	Вірна відповідь менш ніж на 60 % питань або студент був відсутній без поважної причини

8.3. Штрафні та заохочувальні бали

Загальний рейтинг з дисципліни включає тільки заохочувальні бали (табл.8.4). Загальна сума заохочувальних балів не може перевищувати $50 \times 0,1 = (+ 5)$ балів.

Заохочувальні бали Таблиця 8.4

Дія	Бали
Участь у розробці дидактичного матеріалу	5 балів

8.4. Умови рубіжної атестації

На 8-й тиждень навчання (перша атестація) графіком передбачено виконання: 3-х практичних робіт по 11 балів. Що становить у сумі $11 \times 3 = 33$ балів. Таким чином для отримання "задовільно" з першої рубіжної атестації студент повинен мати не менше ніж $33 \times 0,5 = 17$ балів.

На 14-й тиждень навчання (друга атестація) графіком передбачено виконання: 5-ти практичних робіт та МКР 23 бали; що становить у сумі $11 \times 5 + 23 = 88$ балів. Таким чином для отримання "задовільно" з другої рубіжної атестації студент повинен мати не менше ніж $88 \times 0,5 = 44$ балів.

8.5. Розрахунок шкали рейтингу з дисципліни (rd):

Сума вагових балів контрольних заходів протягом семестру складає: $R_d = \sum_i r_i$ де r - рейтингові або вагові бали за кожний вид робіт з дисципліни (табл. 8.2-8.4). $R_d = 77_{пр} + 23_{мкр} = 100$ балів.

Таблиця відповідності рейтингових балів оцінкам за університетською шкалою. Таблиця 8.7

Кількість балів	Оцінка ECTS	Оцінка
100-95	A	Відмінно
94-85	B	Дуже добре
84-75	C	Добре
74-65	D	Задовільно
64-60	E	Достатньо
Менше 60	Fx	Незадовільно
Не виконані умови допуску	F	Не допущено

Необхідною умовою допуску до заліку є виконання МКР та зарахування всіх практичних робіт, передбачених програмою, а також семестровий рейтинг R_c не менше 60 балів.

Студенти, які набрали протягом семестру рейтинг з дисципліни менше $0,5 \times R_c = 30$ балів (оцінка F), зобов'язані до початку екзаменаційної сесії підвищити його, інакше вони не допускаються до заліку з цієї дисципліни і мають академічну заборгованість.

Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):

Складено к.т.н., проф., Гладський М.М.

Ухвалено кафедрою Технології машинобудування (протокол №15 від 17.04.2025)

Погоджено Методичною комісією НН ММІ (протокол №9 від 25.04.2025)