

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

Кафедра Технологія машинобудування
(найменування кафедри, яка відповідає за дисципліну)



«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Декан

Василь ГЛУШКО

08

2024 року

ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Твердотільне моделювання і основи інженерних розрахунків

(шифр за відповідною освітньою програмою та назва навчальної дисципліни)

освітня програма (спеціалізація) Технології машинобудування
(назва освітньої програми (спеціалізації))

спеціальність 131 Прикладна механіка
(код і найменування спеціальності)

галузь знань 13 Механічна інженерія
(код і найменування галузі)

ступінь вищої освіти Бакалавр
(назва ступеня вищої освіти)

2024 рік

програма з дисципліни Твердотільне моделювання і основи інженерних розрахунків
(назва навчальної дисципліни)

спеціальності 131 Прикладна механіка
(код і найменування спеціальності)

освітня програма (спеціалізація) Технології машинобудування
(назва освітньої програми (спеціалізації))

Розробник (и): доц., к.т.н. Двірник Ярослав Вікторович
(вказати авторів, їхні посади, наукові ступені та вчені звання)

Програма погоджена:

Завідувач кафедри

на якій виконується освітній компонент

Сергія ДЯДЯ
202

Гарант освітньої програми

ВВС

Наталя ГОНЧАР
(імя прізвище)
22.08 2024

Схвалено науково-методичною комісією Машинобудівного факультету
(найменування факультету)

Протокол від « 27 » серпня 2024 року № 1

Голова науково-методичної комісії

Василь ГЛУШКО
(імя прізвище)
28.08 2024

1. Опис навчальної дисципліни

Загальна характеристика

Обов'язковий освітній компонент	
Рівень вищої освіти	Перший (бакалаврський) рівень
Ступінь вищої освіти	Бакалавр
Галузь знань	13 Механічна інженерія
Спеціальність	131 Прикладна механіка
Обмеження щодо форм навчання	Без обмежень

Найменування показників	Характеристика навчальної дисципліни	
	денна форма навчання	заочна форма навчання
Кількість кредитів	4	
Модулів	1	-
Змістових модулів	3	-
Семестр	6	6
Загальна кількість годин	120	
з них аудиторних:	42	10
лекції	14	4
практичні	28	6
лабораторні	-	-
семінарські	-	-
з них самостійної роботи:	78	110
Занять на тиждень	1,5	5
Індивідуальні завдання		
Форма контролю	іспит	
Курсова робота (проект) (загальний обсяг)	-	

2. Мета навчальної дисципліни

Метою вивчення дисципліни є навчити фахівців зі спеціальності 131 «Прикладна механіка» теоретичним та практичним основам чисельних методів розрахунків деталей машин, зокрема газотурбінних двигунів (ГТД), за допомогою програмного пакету ANSYS.

3. Завдання вивчення дисципліни

Основне завдання навчальної дисципліни є підготовка висококваліфікованих фахівців, добре володіючих на сучасному рівні теоретичними основами і методами вирішення та забезпечення міцностної надійності елементів конструкцій деталей машин та основами розрахунку на міцність методом кінцевих елементів.

4. Характеристика навчальної дисципліни

Загальні компетентності:

1. ЗК1. Здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу.
2. ЗК3. Вміння виявляти, ставити та вирішувати проблеми.
3. ЗК4. Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях.
4. ЗК5 Здатність працювати в команді.
5. ЗК6. Визначеність і наполегливість щодо поставлених завдань і взятих обов'язків.
6. ЗК7. Здатність вчитися і оволодівати сучасними знаннями.
7. ЗК12. Здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел.
8. ЗК13. Здатність оцінювати та забезпечувати якість виконуваних робіт

Фахові компетентності:

1. СК1. Здатність аналізу матеріалів, конструкцій та процесів на основі законів, теорій та методів математики, природничих наук і прикладної механіки.
2. СК2. Здатність робити оцінки параметрів працездатності матеріалів, конструкцій і машин в експлуатаційних умовах та знаходити відповідні рішення для забезпечення заданого рівня надійності конструкцій і процесів, в тому числі і за наявності деякої невизначеності.
3. СК 5. Здатність використовувати аналітичні та чисельні математичні методи для вирішення задач прикладної механіки, зокрема здійснювати розрахунки на міцність, витривалість, стійкість, довговічність, жорсткість в процесі статичного та динамічного навантаження з метою оцінки надійності деталей і конструкцій машин.
4. СК 7. Здатність застосовувати комп'ютеризовані системи проектування (CAD), виробництва (CAM), інженерних досліджень (CAE) та

спеціалізоване прикладне програмне забезпечення для вирішення інженерних завдань з прикладної механіки.

5. СК 8. Здатність до просторового мислення і відтворення просторових об'єктів, конструкцій та механізмів у вигляді проєкційних креслень та тривимірних геометричних моделей.

Очікувані програмні результати навчання:

1. ПРН3. Виконувати розрахунки на міцність, витривалість, стійкість, довговічність, жорсткість деталей машин.
2. ПРН4. Оцінювати надійність деталей і конструкцій машин в процесі статичного та динамічного навантаження.
3. ПРН12. Навички практичного використання комп'ютеризованих систем проєктування (CAD), підготовки виробництва (CAM) та інженерних досліджень (CAE).

5.Зміст навчальної дисципліни

Змістовий модуль 1. Вступ. Загальні відомості, основні поняття

Тема 1 Міцностна надійність елементів виробів машинобудування.

Структура моделей міцностної надійності

Структура моделей міцностної надійності, її рівні та складові, їх взаємозв'язок. Сучасні підходи до аналізу конструкцій деталей на міцність, особливо деталей складної форми, складнонавантажених конструкцій, до чисельного дослідження міцності деталей. Етапи рішень інженерних задач та міцностного аналізу. Моделювання різних рівнів. Надійність. Критерії надійності, ймовірність неруйнування, коефіцієнт запасу міцності.

Тема 2 Основи методу кінцевих елементів. Пакет кінцево-елементного аналізу ANSYS

Теоретичні основи чисельних методів. Метод кінцевих елементів. ANSYS – програма кінцево-елементного аналізу. Модулі системи ANSYS. Галузі застосування. Інтерфейс користувача. Графічні можливості. Процесори. База даних. Формат файлів. Імпорт геометричних моделей з CAD систем. Імпорт IGES, SAT, Parasolid. Програми трансляції.

Змістовий модуль 2. Основи розрахунку на міцність методом кінцевих елементів за допомогою пакета ANSYS

Тема 3 Створення моделей форми деталей машин. Спадне та висхідне твердотільне моделювання. Моделі навантаження

Моделі форми деталей машин. Приклади. Спрощення при моделюванні. Моделі навантаження. Види навантажень (зосереджені, поверхневі, масові, інерційні тощо). Способи їх прикладення. Твердотільне моделювання в системі ANSYS. Спадне моделювання (примітиви, робоча площина, бульові операції).

Висхідне моделювання (крапки, координатні системи, лінії, поверхні, об'єми, дії). Функції та команди.

Тема 4 Кінцеві елементи. Створення кінцево-елементної моделі. Вплив кількості КЕ на точність розрахунку

Особливості. Створення сіток кінцевих елементів (КЕ). Типи КЕ. Атрибути кінцевих елементів. Створення регулярної сітки КЕ. Створення нерегулярної („вільної“) сітки кінцевих елементів. Видавлювання сітки. Протягування сітки. Керування густотою сітки. Зміна сітки, методи згущення сітки.

Тема 5 Опис моделей матеріалу. Білінійні моделі матеріалів. Початкові та граничні умови. Концентрація напружень

Опис моделі матеріалу деталі. Ізотропні, анізотропні, ортотропні матеріали. Лінійні, нелінійні, пружні пластичні та інші моделі матеріалів; чутливі і нечутливі до швидкості деформації матеріали, білінійні моделі матеріалів. Механічні аналоги виду поведінки матеріалів. Початкові умови. Додання граничних умов. Навантаження конструкції. Місця прикладення навантажень. Концентратори напружень в деталях та моделях. Коефіцієнти концентрації напружень.

Тема 6 Отримання рішення. Види представлення отриманих рішень. Обробка результатів. Похибка розрахунку

Обробка результатів рішення, їх різноманіття. Головний постпроцесор (POST1). Види представлення результатів рішення. Графічне подання результатів. Візуалізація за допомогою ліній рівня. Візуалізація деформованого стану. Подання результатів розрахунку у вигляді графіків, таблиць. Відображення даних та їх збереження (кольорових та чорно-білих) у вигляді файлів графічних форматів *.jpg , *.bmp, *.tif та ін. Розрахунок похибок, аналіз отриманих результатів, їх порівняння. Метод підмоделей (submodeling), мета його використання.

Змістовий модуль 3. Види аналізу деталей методом кінцевих елементів в пакеті ANSYS з урахуванням експлуатаційного навантаження

Тема 7 Основні види аналізу деталей машин. Коливання. Змінні навантаження. Гармонічні коливання. Малоциклова та багатоциклова втома. Втоми руйнування. Модальний та гармонічний аналіз

Коефіцієнт запасу міцності, його рекомендоване значення для різних груп деталей, різної відповідальності, працездатності. Основні види аналізу деталей машин. Розрахунок на міцність. Види коливань. Змінні навантаження, довговічність, цикли навантажень, крива втомленості, границя витривалості. Гармонічні коливання, основні поняття – період, амплітуда, максимальні та мінімальні напруження; види – віднульові, симетричні, несиметричні тощо. Малоциклова та багатоциклова втома. Втоми руйнування. Модальний аналіз, його мета. Моди коливань. Власна частота конструкцій. Гармонічний аналіз.

Явище резонансу, визначення причин, способи уникнення. Основні види розрахунків чисельними методами в машинобудуванні. Основні типи деталей, що підлягають перевірці.

Тема 8 Термічні навантаження деталей машин. Термічний аналіз. Особливості завдання властивостей матеріалу, початкових граничних термічних умов. Стаціонарний термічний аналіз

Термічне навантаження деталей машин. Особливо відповідальні деталі, які вивчають з врахуванням експлуатаційних температур, на прикладі деталей авіаційних двигунів: лопаток, валів, дисків. Термічний аналіз. Завдання розширених, в тому числі і термічних, властивостей матеріалу. Особливості завдання початкових граничних термічних вимог. Стаціонарний термічний аналіз. Різні види прикладення термограничних умов: точкові, лінійні джерела тепла, теплові потоки, температура зовнішнього середовища, вихідна температура конструкцій, ізолювання тепла, ізотермічні поверхні в ANSYS.

Тема 9 Термоміцностний аналіз деталей машин, що експлуатуються при високих температурах, зокрема деталей ГТД. Нестационарний термічний аналіз

Термоміцностний аналіз деталей машин, що експлуатуються при високих температурах. Два підходи до термоміцностного аналізу. Головні етапи. Особливості КЕ термічного аналізу. Нестационарний термічний аналіз. Статичний і динамічний термоміцностний аналіз. Щільність теплового потоку. Картини розподілу температур в об'ємах моделей. Аналіз отриманих результатів. Графіки залежностей температури в окремо взятих місцях моделі від часу впливу температури та навантаження з урахуванням змінних властивостей матеріалів.

Тема 10 Напружено-деформований стан (НДС) деталей. Тензор напружень, тензор деформацій. Нормальні напруження. Лінійні, плоскі, об'ємні НДС, їх різновиди. Використання на практиці

Напружено-деформований стан (НДС) деталей. Тензор напружень, тензор деформацій. Нормальні напруження. Дотичні напруження. Лінійні, плоскі, об'ємні НДС, їх різновиди. Однородні НДС. Деформації, їх складові, та різновиди. Загальний закон Гука. Модуль пружності Юнга, коефіцієнт Пуассона. Моделі руйнування деталей машин. Їх типи. Використання на практиці. Основи застосування мови параметричного моделювання (APDL).

6. Орієнтовний розподіл навчального часу

Назви змістових модулів і тем	Кількість годин											
	Денна форма						Заочна форма					
	усього	у тому числі					усього	у тому числі				
		лк	пр	лаб	інд	с.р.		лк	пр	лаб	інд	с.р.
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
МОДУЛЬ 1												
Змістовий модуль 1. Вступ. Загальні відомості, основні поняття												
Тема 1. Міцностна надійність елементів виробів машинобудування. Структура моделей міцностної надійності.	12	2	2	–	–	8	12	1	2	–	–	9
Тема 2. Основи методу кінцевих елементів. Пакет кінцево-елементного аналізу ANSYS	13	2	2	–	–	9	13	–	–	–	–	13
Разом за змістовим модулем 1	25	4	4	–	–	17	25	1	2	–	–	22
Змістовий модуль 2. Основи розрахунку на міцність методом кінцевих елементів за допомогою пакета ANSYS												
Тема 3. Створення моделей форми деталей машин. Спадне та висхідне твердотільне моделювання. Моделі навантаження.	14	1	4	–	–	9	14	–	–	–	–	14
Тема 4. Кінцеві елементи. Створення кінцево-елементної моделі. Вплив кількості КЕ на точність розрахунку.	14	1	2	–	–	11	14	–	–	–	–	14
Тема 5. Опис моделей матеріалу. Білінійні моделі матеріалів. Початкові та граничні умови. Концентрація напружень.	14	1	2	–	–	11	14	–	–	–	–	14
Тема 6. Отримання рішення. Види представлення отриманих рішень. Обробка результатів. Похибка розрахунку.	13	1	2	–	–	10	13	1	2	–	–	10
Разом за змістовим модулем 2	55	4	10	–	–	41	55	1	2	–	–	52

Змістовий модуль 3. Види аналізу деталей методом кінцевих елементів в пакеті ANSYS з урахуванням експлуатаційного навантаження												
Тема 7. Основні види аналізу деталей машин. Коливання. Змінні навантаження. Гармонічні коливання. Малоциклова та багатоциклова втома. Втомне руйнування. Модальний та гармонічний аналіз.	10	2	4	–	–	4	10	1	2	–	–	7
Тема 8. Термічні навантаження деталей машин. Термічний аналіз. Особливості завдання властивостей матеріалу, початкових граничних термічних умов. Стаціонарний термічний аналіз.	10	2	4	–	–	4	10	1	–	–	–	9
Тема 9. Термоміцностний аналіз деталей машин, що експлуатуються при високих температурах, зокрема деталей ГТД. Нестационарний термічний аналіз.	10	1	2	–	–	7	10	–	–	–	–	10
Тема 10. Напружено-деформований стан (НДС) деталей. Тензор напружень, тензор деформацій. Нормальні напруження. Лінійні, плоскі, об'ємні НДС, їх різновиди. Використання на практиці.	10	1	4	–	–	5	10	–	–	–	–	10
Разом за змістовим модулем 3	40	6	14	–	–	20	40	2	2	–	–	36
Усього годин	120	14	28	–	–	78	120	4	6	–	–	110

7. Види навчальних занять та їх орієнтовний зміст

№ з/п	Тема	Вид занять	Орієнтовний зміст
1	Основи роботи в ANSYS	Практична	Відпрацювання основних концепцій ANSYS: завантаження файлів баз даних та їх збереження, відображення об'єктів, керування видами, створення бази даних, створення й видалення елементарних геометричних об'єктів.
2	Імпортування геометрії моделей з CAD систем, їх особливості	Практична	Ознайомлення з прийомами імпортування геометрії моделей з AutoCAD, КОМПАС 3D та SolidEdge.
3	Спадне твердотільне моделювання	Практична	Одержання практичних навичок спадного твердотільного моделювання деталей машин засобами моделювання ANSYS.
4	Створення сітки кінцевих елементів	Практична	Отримання практичних навичок створення вільної та регулярної сітки кінцевих елементів (КЕ) в системі ANSYS.
5	Аналіз напружено-деформованого стану деталей машин	Практична	Одержання практичних навичок прикладення навантажень і розрахунку напружено-деформованого стану деталей машин.
6	Визначення ефективних і теоретичних коефіцієнтів концентрації напружень в деталях машин чисельним методом	Практична	Вивчення прийомів розрахунку методом кінцевих елементів (МКЕ) коефіцієнтів концентрації напруг.
7	Розрахунок на міцність деталей типу дисків	Практична	Ознайомлення з основними прийомами розрахунку напружень, діючих при статичному навантаженні консольно закріпленої ободної частини диска КВТ з пазами типу "ластівчин хвіст"
8	Модальний аналіз деталей	Практична	Ознайомлення з основними

	на прикладі несучих площин літаків		засобами розрахунку на міцність деталей типу дисків.
9	Аналіз вібраційних характеристик конструкції	Практична	Одержання резонансної частоти, форми коливань на резонансній частоті й прискорення на заданому інтервалі частот.
10	Стаціонарний тепловий аналіз	Практична	Завдання теплопровідності як функції температури, побудова графіка температур і теплового потоку.
11	Розрахунок термонапруженого стану пластини	Практична	Накладення температурного поля в міцностному аналізі як навантаження
12	Тепловий розрахунок об'ємної пластини	Практична	Аналіз впливу двох точкових джерел тепла на деталь
13	Нестационарний тепловий режим	Практична	Аналіз впливу декількох джерел тепла на круглу пластину
14	Складові міцностної надійності	Самостійна	Структура моделей міцностної надійності, її рівні та складові, їх взаємозв'язок. Сучасні підходи до аналізу конструкцій деталей на міцність, особливо деталей складної форми, складнонавантажених конструкцій, до чисельного дослідження міцності деталей. Етапи рішення інженерних задач та міцностного аналізу. Моделювання різних рівнів. Надійність. Критерії надійності, ймовірність неруйнування, коефіцієнт запасу міцності.
15	Використання методу кінцевих елементів	Самостійна	Теоретичні основи чисельних методів. Метод кінцевих елементів. ANSYS – програма кінцево-елементного аналізу. Модулі системи ANSYS. Галузі

			застосування. Інтерфейс користувача. Графічні можливості. Процесори. База даних. Формат файлів. Імпорт геометричних моделей з CAD систем. Імпорт IGES, SAT, Parasolid. Програми трансляції.
16	Різновиди спадного та висхідного моделювання об'єктів	Самостійна	Моделі форми деталей машин. Приклади. Спрощення при моделюванні. Моделі навантаження. Види навантажень (зосереджені, поверхневі, масові, інерційні тощо). Способи їх прикладення. Твердотільне моделювання в системі ANSYS. Спадне моделювання (примітиви, робоча площина, бульові операції). Висхідне моделювання (крапки, координатні системи, лінії, поверхні, об'єми, дії). Функції та команди.
17	Сітки кінцевих елементів. Їх використання в моделях різної конструкції	Самостійна	Особливості. Створення сіток кінцевих елементів (КЕ). Типи КЕ. Атрибути кінцевих елементів. Створення регулярної сітки КЕ. Створення нерегулярної („вільної“) сітки кінцевих елементів. Видавлювання сітки. Протягування сітки. Керування густотою сітки. Зміна сітки, методи згущення сітки.
18	Відображення властивостей матеріалів в їх моделях. Вплив наявності концентраторів напружень в конструкції на сітку кінцевих елементів моделі	Самостійна	Опис моделі матеріалу деталі. Ізотропні, анізотропні, ортотропні матеріали. Лінійні, нелінійні, пружні пластичні та інші моделі матеріалів; чутливі і нечутливі до швидкості деформації матеріали,

			білінійні моделі матеріалів. Механічні аналоги виду поведінки матеріалів. Початкові умови. Додання граничних умов. Навантаження конструкції. Місця прикладення навантажень. Концентратори напружень в деталях та моделях. Коефіцієнти концентрації напружень.
19	Види отримання рішень у відповідності до початкової мети розрахунку	Самостійна	Обробка результатів рішення, їх різноманіття. Головний постпроцесор (POST1). Види представлення результатів рішення. Графічне подання результатів. Візуалізація за допомогою ліній рівня. Візуалізація деформованого стану. Подання результатів розрахунку у вигляді графіків, таблиць. Відображення даних та їх збереження (кольорових 10 та чорно-білих) у вигляді файлів графічних форматів *.jpg , *.bmp, *.tif та ін. Розрахунок похибок, аналіз отриманих результатів, їх порівняння. Метод підмоделей (submodeling), мета його використання
20	Коливання, зокрема гармонічні коливання. Втомне руйнування	Самостійна	Коефіцієнт запасу міцності, його рекомендоване значення для різних груп деталей, різної відповідальності, працездатності. Основні види аналізу деталей машин. Розрахунок на міцність. Види коливань. Змінні навантаження, довговічність, цикли навантажень, крива втомленості, границя витривалості. Гармонічні коливання, основні поняття —

			період, амплітуда, максимальні та мінімальні напруження; види – віднульові, симетричні, несиметричні тощо. Малоциклова та багатоциклова втома. Втомні руйнування. Модальний аналіз, його мета. Моді коливань. Власна частота конструкцій. Гармонічний аналіз. Явище резонансу, визначення причин, способи уникнення. Основні види розрахунків чисельними методами в машинобудуванні. Основні типи деталей, що підлягають перевірці.
21	Термічні навантаження як різновид граничних умов.	Самостійна	Термічне навантаження деталей машин. Особливо відповідальні деталі, які вивчають з врахуванням експлуатаційних температур, на прикладі деталей авіаційних двигунів: лопаток, валів, дисків. Термічний аналіз. Завдання розширених, в тому числі і термічних, властивостей матеріалу. Особливості завдання початкових граничних термічних вимог. Стаціонарний термічний аналіз. Різні види прикладення термограничних умов: точкові, лінійні джерела тепла, теплові потоки, температура зовнішнього середовища, вихідна температура конструкцій, ізолювання тепла, ізотермічні поверхні в ANSYS.
22	Стаціонарний і	Самостійна	Термоміцностний аналіз

	нестационарний термічний аналіз		деталей машин, що експлуатуються при високих температурах. Два підходи до термоміцностного аналізу. Головні етапи. Особливості КЕ термічного аналізу. Нестационарний термічний аналіз. Статичний і динамічний термоміцностний аналіз. Щільність теплового потоку. Картини розподілу температур в об'ємах моделей. Аналіз отриманих результатів. Графіки залежностей температури в окремо взятих місцях моделі від часу впливу температури та навантаження з урахуванням змінних властивостей матеріалів.
23	Лінійний і нелінійний термічний аналіз	Самостійна	Напружено-деформований стан (НДС) деталей. Тензор напружень, тензор деформацій. Нормальні напруження. Дотичні напруження. Лінійні, плоскі, об'ємні НДС, їх різновиди. Однородні НС. Деформації, їх складові, та різновиди. Загальний закон Гука. Модуль пружності Юнга, коефіцієнт Пуасона. Моделі руйнування деталей машин. Їх типи. Використання на практиці. Основи застосування мови параметричного моделювання (APDL).

8. Форми та методи контролю

Методами контролю є: усний контроль (усне опитування), письмовий, тестовий, графічний, програмований контроль, практична перевірка, а також методи самоконтролю і самооцінки.

9. Критерії оцінювання результатів навчання

Поточне тестування та самостійна робота										Підсумковий тест (екзамен)	Сума
МОДУЛЬ 1											
Змістовий модуль 1		Змістовий модуль 2				Змістовий модуль 3					
T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10		
10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	100	100

T1, T2 ... T12 – теми змістових модулів.

10. Політика курсу

Під час навчання студенти зобов'язані дотримуватися академічної доброчесності:

- самостійно виконувати навчальні завдання, завдання поточного та підсумкового контролю;
- дотримуватися норм законодавства про авторське право;
- приймати активну участь у навчальному процесі;
- не запізнюватися на заняття, не пропускати заняття без поважних причин;
- самостійно і своєчасно вивчати матеріал пропущеного заняття;
- давати достовірну інформацію про результати власної навчальної діяльності.
- бути терпимим і доброзичливим до однокурсників та викладачів.

11. Методичне забезпечення

1. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з дисципліни «Твердотільне моделювання і основи інженерних розрахунків», частина 1, для студентів денної і заочної форми навчання спеціальності 131 «Прикладна механіка», спеціалізації «Технологія машинобудування», галузь знань «Механічна інженерія» / Укл.: Гончар Н.В., Степанов Д.М. – Запоріжжя: НУ «Запорізька політехніка», 2024. – 48 с.

2. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з дисципліни «Твердотільне моделювання і основи інженерних розрахунків», частина 2, для студентів денної і заочної форми навчання спеціальності 131 «Прикладна механіка», спеціалізації «Технологія машинобудування», галузь знань «Механічна інженерія» / Укл.: Гончар Н.В., Степанов Д.М. – Запоріжжя: НУ «Запорізька політехніка», 2024. – 46 с.

3. Файли з розширенням *.avi для ознайомлення з можливостями та галузями застосування пакету ANSYS.

.

12. Перелік навчальної, наукової та довідкової літератури

1. Mary Kathryn Thompson, John M. Thompson. ANSYS Mechanical APDL for Finite Element Analysis / Butterworth-Heinemann is an imprint of Elsevier, 2017. – 447 p.

2. Xiaolin Chen, Yijun Liu. Finite element modeling and simulation with ansys workbench. Second edition / CRS Press. Teylor & Francis Group, 2019. – 458 p.
3. Erdogan Madenci, Ibrahim Guven. The Finite Element Method and Applications in Engineering Using ANSYS. Second edition / Springer New York Heidelberg Dordrecht London, 2015. – 657 p.
4. Y. Nakasone, S. Yoshimoto, T. A. Stolarski. Engineering Analysis with ANSYS Software / Elsevier Butterworth-Heinemann, 2006. – 456 p.

13.Рекомендовані інформаційні джерела

1. ANSYS Mechanical APDL Theory Reference. Електронний ресурс. Режим доступу: https://www.mm.bme.hu/~gyebro/files/ans_help_v182/ans_thry/ans_thry.html.
2. ANSYS Mechanical APDL Structural Analysis Guide ANSYS. Електронний ресурс. Режим доступу: <https://www.pdfdrive.com/ansys-mechanical-apdl-structural-analysis-guidepdf-e12262220.html>.
3. ANSYS Mechanical APDL Advanced Analysis Guide ANSYS. Електронний ресурс. Режим доступу: <https://www.pdfdrive.com/ansys-mechanical-apdl-advanced-analysis-guidepdf-e16678560.html>.