

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

Кафедра Конструкції авіаційних двигунів (№ 203)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Гарант освітньої програми



(підпис)

О. В. Білогуб

(ініціали та прізвище)

«_____» _____ 2021

**РОБОЧА ПРОГРАМА ВИБІРКОВОЇ
НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ**

КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНІ СИСТЕМИ ПРОЕКТУВАННЯ

(назва навчальної дисципліни)

Галузь знань:

13 «Механічна інженерія»

(шифр і найменування галузі знань)

Спеціальність:

134 «Авіаційна та ракетно-космічна техніка»

(код і найменування спеціальності)

Освітня програма:

Авіаційні двигуни та енергетичні установки

(найменування освітньої програми)

Форма навчання: денна

Рівень вищої освіти:

Другий (магістерський)

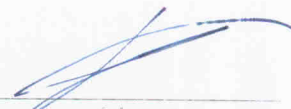
(рівень освіти)

Харків 2021

Розробник

Марценюк Євген Вікторович, ст. викл.

(прізвище та ініціали, посада, науковий ступінь і вчене звання)


(підпис)

Робочу програму розглянуто на засіданні кафедри

Конструкції авіаційних двигунів

(назва кафедри)

Протокол № 1 від « 30 » серпня 2021.

Завідувач кафедри

д.т.н, професор

(науковий ступінь і вчене звання)



С. В. Єніфанов

(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 – 5,5	Галузь знань: 13 <u>«Механічна інженерія»</u> (шифр і назва)	Вибіркова		
Кількість модулів – 2	Спеціальність: 134 <i>«Авіаційна та ракетно-космічна техніка»</i> <u>(шифр і назва)</u>	Навчальний рік		
Кількість змістових модулів – 2		2021 / 2022		
Індивідуальне завдання: <u>Курсова робота: «Розрахунок термонапруженого стану диска турбіни»</u> (назва)		Семестр		
		1-й	2-й	
		Лекції *		
		16 год.	-	
		Практичні, семінарські *		
Загальна кількість годин – 1 семестр – 32*/105 ; 2 семестр – 16*/60		16 год.		16 год.
		Лабораторні *		
		-	-	
	Самостійна робота			
Кількість тижневих годин для денної форми навчання: аудиторних – 1 семестр – 2; 2 семестр – 1 самостійної роботи студента – 1 семестр – 4,6; 2 семестр – 2,75	Рівень вищої освіти: <u>другий (магістерський)</u>	73 год.		44 год.
		Вид контролю		
		залік	диф. залік	

Співвідношення кількості годин аудиторних занять до самостійної роботи становить 1с – 32 / 73 ; 2с – 16 / 44

* Аудиторне навантаження може бути зменшене або збільшене на одну годину в залежності від розкладу занять.

2. Мета та завдання навчальної дисципліни

Мета: придбання знань та умінь, необхідних для виконання інженерних розрахунків основних деталей авіаційного газотурбінного двигуна в програмному пакеті ANSYS.

Завдання: вивчення особливостей виконання інженерних розрахунків в програмному комплексі ANSYS.

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

Загальні компетентності: ЗК1 – здатність до абстрактного мислення, аналізу і синтезу. ЗК2 – вміння виявляти, ставити та вирішувати проблеми. ЗК3 – здатність до проведення досліджень для розв'язання складних задач у професійній (науково-технічній) діяльності. ЗК4 – здатність генерувати нові ідеї та реалізовувати їх у вигляді інноваційних рішень, працюючи у команді з залученням представників інших професійних груп. ЗК8 – здатність до подальшого автономного та самостійного навчання на основі новітніх науково-технічних досягнень.

Спеціальні (фахові) компетентності: ФК2 – здатність кваліфіковано обирати клас матеріалів для елементів конструкцій авіаційної та ракетно-космічної техніки, у тому числі за нечітких умов і вимог.

Програмні результати навчання: ПРН1 – вміння розв'язувати складні інженерні завдання і проблеми авіаційної та / або ракетно-космічної техніки, що потребує оновлення та інтеграції знань, у тому числі в умовах неповної / недостатньої інформації та суперечливих вимог. ПРН5 – вміння використовувати новітнє спеціалізоване програмне забезпечення для розв'язання складних задач у професійній (науково-технічній) діяльності відповідно до освітньої програми. ПРН6 – навички прийняття рішень при виникненні нестандартних складних задач у професійній (науково-технічній) діяльності в умовах невизначеності умов та вимог, наявності спектра думок та обмеженості часу. ПРН12 – вміння обґрунтовано призначати клас матеріалів для елементів та систем авіаційної та ракетно-космічної техніки, мати навички вибору методів модифікації їх властивостей. ПРН17 – навички організації виконання складних завдань у професійній діяльності шляхом послідовного та якісного виконання їхніх окремих етапів, в тому числі з залученням колективу виконавців. ПРН19 – вміння обчислювати напружено-деформований стан, визначати несну здатність конструктивних елементів та надійність систем авіаційної та ракетно-космічної техніки та засобів промислового виробництва з використанням новітнього програмного забезпечення, яке використовується в галузі.

Пре-реквізити: Вища математика, Фізика, Теоретична механіка, Термодинаміка і теплообмін, Інженерна та комп'ютерна графіка, Комп'ютерні технології проектування, Конструкція і динаміка АД і ЕУ.

Ко-реквізити: Системи охолодження елементів АД і ЕУ, Ресурсне проектування і випробування авіаційних двигунів і енергетичних установок.

3. Програма навчальної дисципліни

СЕМЕСТР 1

Модуль 1

Змістовий модуль 1

ЧИСЕЛЬНІ МЕТОДИ В ІНЖЕНЕРНИХ РОЗРАХУНКАХ

ТЕМА 1. Історія розвитку САЕ систем. Стисла характеристика систем-лідерів: їх основні переваги і недоліки. Місце студійованої САЕ системи та її можливості.

ТЕМА 2. Роль числових методів в розрахунках на міцність. Основні етапи числового дослідження міцності конструкції. Ідея і галузь застосування метода кінцевих елементів (МКЕ). Основні етапи практичної реалізації. Типи кінцевих елементів.

ТЕМА 3. Етапи створення кінцево-елементної сітки. Призначення атрибутів об'єктам твердотільної моделі. Керування щільністю сітки. Методи створення кінцево-елементних сіток.

ТЕМА 4. Аналітичне розв'язання задач розрахунку балок на міцність: методика постановки, розв'язання задач та аналізу результатів в програмному комплексі ANSYS. Лінійні та нелінійні постановки задач.

ТЕМА 5. Випробування матеріалів: діаграма “напруження-деформації”. Типи нелінійності в задачах розрахунків на міцність. Алгоритм нелінійного аналізу, його ладнання.

ТЕМА 6. Типи граничних умов в теплових задачах. Задання граничних умов і умов теплового контакту. Стаціонарні і нестаціонарні задачі теплопровідності. Формування функціональних залежностей теплофізичних характеристик матеріалів від температури.

ТЕМА 7. Особливості розрахунку дисків компресорів і турбін на міцність. Методика виконання розрахунку тепло напруженого стану деталі. Плоска постановка задачі. Особливості задання граничних умов на поверхні диска турбіни.

ТЕМА 8. Власні та вимушені коливання. Методика розрахунку власних форм і частот коливань на прикладі робочих лопаток. Частотна діаграма.

ТЕМА 9. Розрахунок зовнішнього корпусу камери згоряння на міцність. Характеристика задач стійкості. Місцева стійкість тонкостінних конструкцій. Розрахунок внутрішнього корпусу камери згоряння на стійкість.

ТЕМА 10. Методика постановки і рішення контактних задач. Загальна характеристика задач динаміки. Параметри динамічних розрахунків. Динамічне застосування навантаження. Спектральний відгук у разі ударного навантаження.

СЕМЕСТР 2

Модуль 2

Змістовий модуль 2

ТЕРМОНАПРУЖЕНИЙ СТАН ЕЛЕМЕНТІВ АД ТА ЕУ

Курсова робота

Курсова робота є самостійною роботою студента. Для керівництва, контролю та допомоги студенту призначається керівник курсової роботи з числа викладачів.

Курсова робота містить у собі створення розрахункової моделі диска турбіни високого тиску та його оточення, визначення граничних умов теплообміну, розрахунки теплового, напружено-деформованого та термонапруженого стану диска.

За бажанням студента та за згодою викладача завдання на курсову роботу може бути змінено у разі його відповідності до загального змісту даної дисципліни та збереженні обсягу й складності роботи.

Зміст курсової роботи – базове завдання

Числові методи в розрахунках на міцність.

Аналіз конструкції турбіни високого тиску (ТВТ) авіаційного газотурбінного двигуна.

Створення геометричної моделі диска ТВТ та його оточення.

Призначення матеріалу диска, визначення його фізичних властивостей.

Аналіз узагальненого польотного циклу двигуна-прототипу.

Визначення граничних умов теплообміну.

Розрахунок теплового стану диска ТВТ: стаціонарний і нестаціонарний аналізи.

Розрахунок напружено-деформованого стану диска ТВТ.

Розрахунок термонапруженого стану диска ТВТ: стаціонарний і нестаціонарний аналізи.

4. Структура навчальної дисципліни

Назви змістових модулів і тем	Кількість годин				
	денна форма				
	усього	у тому числі			
		л	п	лаб	с.р.
1	2	3	4	5	6
СЕМЕСТР 1					
Модуль 1					
Змістовий модуль 1 (ЧИСЕЛЬНІ МЕТОДИ В ІНЖЕНЕРНИХ РОЗРАХУНКАХ)					
ТЕМА 1. Загальні відомості про САЕ системи	3	1	-	-	2
ТЕМА 2. Основні положення методу кінцевих елементів	6	2	-	-	4
ТЕМА 3. Створення кінцеве-елементної сітки	5	1	-	-	4
ТЕМА 4. Розрахунок балок та рам на міцність	12	2	4	-	6
ТЕМА 5. Особливості рішення нелінійних задач	16	2	2	-	12
ТЕМА 6. Задачі поширення тепла	14	2	2	-	10
ТЕМА 7. Розрахунок дисків компресорів і турбін на міцність	21	2	4	-	15
ТЕМА 8. Частотний аналіз робочих лопаток ГТД	8	1	1	-	6
ТЕМА 9. Розрахунок корпусів камер згоряння на міцність та втрату стійкості	5	-	1	-	4
ТЕМА 10. Контактні задачі. Аналіз динаміки конструкції	14	2	2	-	10
Модульний контроль	1	1	-	-	-
Разом за змістовим модулем 1	105	16	16	0	73
СЕМЕСТР 2					
Модуль 2					
Змістовий модуль 2 (ТЕРМОНАПРУЖЕНИЙ СТАН ЕЛЕМЕНТІВ АД ТА ЕУ)					
Індивідуальне завдання	60	-	16	-	44
Курсова робота на тему: "Розрахунок термонапруженого стану диска турбіни високого тиску"					
Контрольний захід					
Усього годин	180	16	32	-	132

5. Теми семінарських занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1		0
	Разом	0

6. Теми практичних занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
СЕМЕСТР 1 Модуль 1 Змістовий модуль 1 (ЧИСЕЛЬНІ МЕТОДИ В ІНЖЕНЕРНИХ РОЗРАХУНКАХ)		
1	Розрахунок балок з використанням бібліотеки сортаменту	2
2	Розрахунок рам з сортаментом користувача	2
3	Розрахунок балок. Нелінійний аналіз	2
4	Стаціонарні та нестаціонарні задачі теплопровідності	2
5	Розрахунок термонапруженого стану диска турбіни ГТД з урахуванням умов його кріплення до валу	2
6	Розрахунок напружено-деформованого стану диска компресора, враховуючи його циклічну симетрію	2
7	Частотний аналіз лопатки компресора	1
8	Розрахунок корпусу камери згоряння ГТД на розрив і втрату стійкості	1
9	Контактні задачі: моделювання процесу запресовування штифта	2
СЕМЕСТР 2 Модуль 2 Змістовий модуль 2 (ТЕРМОНАПРУЖЕНИЙ СТАН ЕЛЕМЕНТІВ АД ТА ЕУ)		
10	Аналіз конструкції турбіни високого тиску (ТВТ) авіаційного газотурбінного двигуна та узагальненого польотного циклу двигуна-прототипа. Створення геометричної моделі диска ТВТ та його оточення.	2
11	Призначення матеріалу диска, визначення його фізичних властивостей.	1
12	Визначення граничних умов теплообміну на всіх режимах роботи двигуна відповідно до узагальненого польотного циклу.	3
13	Розрахунок теплового стану диска ТВТ: стаціонарний та нестаціонарний аналізи.	4
14	Розрахунок термонапруженого стану диска ТВТ: стаціонарний та нестаціонарний аналізи.	6
	Разом	16

7. Теми лабораторних занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1		0
	Разом	0

8. Самостійна робота

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
СЕМЕСТР 1 Модуль 1 Змістовий модуль 1 (ЧИСЕЛЬНІ МЕТОДИ В ІНЖЕНЕРНИХ РОЗРАХУНКАХ)		
1	Основні положення метода кінцевих елементів	2

2	Графічний інтерфейс, командний рядок програмного комплексу ANSYS	2
3	Створення кінцеве-елементної сітки	2
4	Методика роботи з програмою. Рішення основних інженерних задач (міцності, теплопровідності, стійкості та ін.)	57
5	Розрахунок термонапруженого стану диска турбіни високого тиску	10
СЕМЕСТР 2		
Модуль 2		
Змістовий модуль 2 (ТЕРМОНАПРУЖЕНИЙ СТАН ЕЛЕМЕНТІВ АД ТА ЕУ)		
6	Виконання курсової роботи	44
	Разом	117

9. Індивідуальне завдання

1. Курсова робота на тему: *«Розрахунок термонапруженого стану диска турбіни високого тиску газотурбінного двигуна».*

Розділи роботи:

1. Аналіз конструкції турбіни високого тиску (ТВТ) авіаційного газотурбінного двигуна та узагальненого польотного циклу двигуна-прототипа.
2. Створення геометричної моделі диска ТВТ та його оточення.
3. Призначення матеріалу диска, визначення його фізичних властивостей.
4. Визначення граничних умов теплообміну на всіх режимах роботи двигуна відповідно до узагальненого польотного циклу.
5. Розрахунок теплового стану диска ТВТ: стаціонарний та нестаціонарний аналізи.
6. Розрахунок напружено-деформованого стану диска ТВТ.
7. Розрахунок термонапруженого стану диска ТВТ: стаціонарний та нестаціонарний аналізи.
8. Складання розрахунково-пояснювальної записки.

10. Методи навчання

Основні форми навчання:

- лекційна;
- практичні роботи;
- курсова робота;
- самостійна робота студента;
- залік.

На лекціях студентів даються основні поняття, основи теорії, закономірності, необхідні для підготовки до практичних занять, виконання самостійної роботи.

Лекція, розв'язує тільки одну дидактичну задачу – дає первісне знайомство з темою, організовує первісне сприйняття матеріалу, формулює основні проблеми.

Проведення практичних занять базується на індивідуальному виконанні студентами розрахунків деталей газотурбінних двигунів на міцність, теплових розрахунків та ін. с подальшим аналізом і поясненням отриманих результатів.

Основною формою навчання є самостійна робота. До неї не можна приступати без певного багажу знань, які даються на лекції. Під час самостійної роботи студенті поглиблено вивчають лекційний матеріал, готуються до проведення практичних та лабораторних робіт, виконують курсовий проект.

11. Методи контролю

11.1. Тестування

Матеріал дисципліни розбито на два змістових модулі:

1. Чисельні методи інженерних розрахунках.
2. Курсова робота на тему: “Розрахунок термонапруженого стану диска турбіни високого тиску”.

Складання модуля 1 – на 16-му тижні 1-го семестру (один раз), складання модуля 2 – на 16-му тижні 2-го семестру (один раз).

До складання модулів студент допускається за умови виконання всіх видів обов’язкових робіт, передбачених у модулях.

Оформлення практичних робіт – *письмово* або *електронний звіт*, захист – *усно*.

Строк захисту курсової роботи – 15-й тиждень. Затримка захисту курсової роботи на тиждень – мінус 2 бали, на 2 тижні – мінус 4 бали.

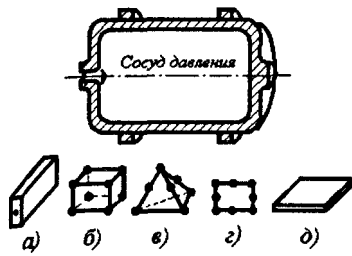
Семестр 1 модуль 1 – залік; семестр 2 модуль 2 – диференційний залік..

11.2. Питання для контролю та самостійної роботи студентів

Модуль 1

Змістовий модуль 1

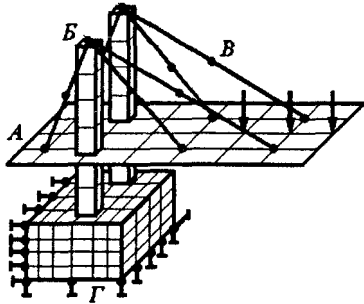
1. Чим зумовлена необхідність появи метода кінцевих елементів?
2. Основні поняття та принципи метода кінцевих елементів.
3. Етапи вирішення задач з допомогою МКЕ.
4. Порівняльний аналіз програм-лідерів за колом задач, границь застосування і т. ін..
5. Перелік задач, що можуть бути вирішені за допомогою програмного комплексу ANSYS: вихідні дані та отримані результати.
6. Структура інтерфейса ANSYS та загальна характеристика меню.
7. Робота з командним файлом.
8. Перелік та властивості геометричних примітивів.
9. Типи кінцевих елементів: призначення точок, балок та оболонки.
10. Особливості елементів, що застосовуються для моделювання вісесиметричних задач.
11. Різниця між елементами першого та другого порядку.
12. Поняття системи координат: різні типи і їх призначення (для побудови складної геометрії, закріплення, навантаження).
13. Особливості побудови сітки: основні характеристики якісно побудованої сітки; «вільна» і впорядкована сітка.
14. Процес побудови сітки: контрольований користувачем, та автоматичний. Переваги та недоліки різних підходів.
15. Який вплив має орієнтованість сторін елементів на точність рішення?
16. Чим зумовлені похибки інтерполяції результатів чисельного рішення: різниця між по вузловим і по-елементним наведенням результатів (на прикладі напружено-деформованого стану конструкції).
17. Розглядається наступний розрахунковий випадок: в одній і тій самій моделі одночасно присутні елементи першого та другого порядків. Чи є можливим такий варіант з точки зору МКЕ? Поясніть, чому, та наведіть приклад.
18. Розглядається наступний розрахунковий випадок: в одній і тій самій моделі одночасно присутні лінійні, балочні й поверхневі (оболонкові) елементи. Чи є можливим такий варіант з точки зору МКЕ? Поясніть, чому, та наведіть приклад.
19. Який із перерахованих елементів є найбільш вдалим для моделювання симетричної тонкостінної ємності під тиском – дивись рисунок.



- а) балочний елемент;
 б) тримірний гексагональний елемент;
 в) тримірний тетраедральний елемент;
 г) 8-ми вузловий прямокутний двомірний елемент;
 е) поверхневий (оболонковий) елемент?

Поясніть свій вибір.

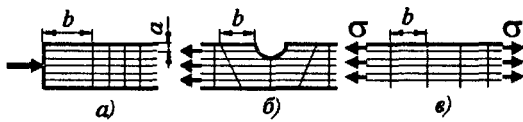
20. На разі статичного аналізу конструкції моста збільшення кількості яких із застосованих елементів може максимально підвищити точність результатів (дивись рисунок):



- А – оболонкових;
 Б – балочних;
 В – стрижневих;
 Г) тримірних?

Поясніть, чому.

21. У якій із наведених схем можливе застосування «довгих» елементів ($b/a > 2$):



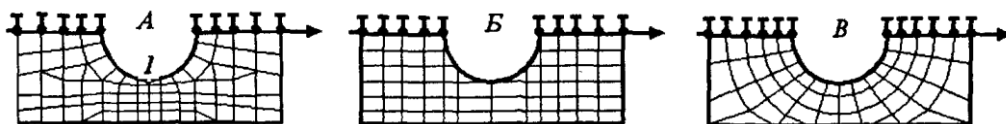
- а) на границі дії сили та/або граничних умов;
 б) у зонах концентрації напружень;
 в) в зоні постійних напружень;
 г) застосування таких елементів завжди призводить до помилок?

Поясніть, чому.

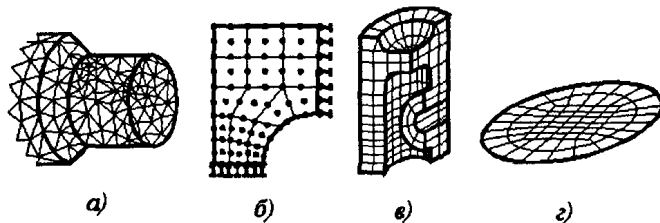
22. Які з елементів 1...5, зображених на рисунку, не є вірними? Чому?



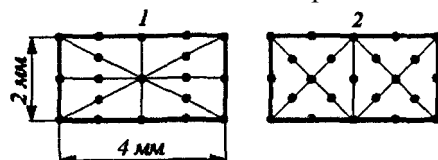
23. Яка з наведених на рисунку сіток А...В не є раціональною? Поясніть, чому.



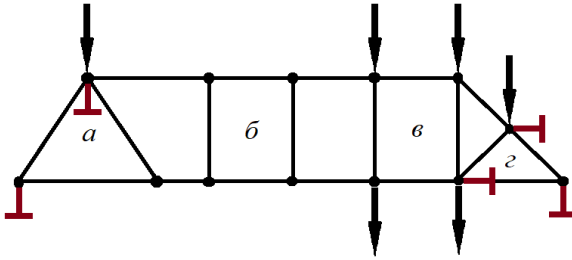
24. Які з наведених схем а...г відповідають довільній сітці, а які – впорядкованій? Поясніть, чому.



25. Яка з двох схем є переважною з точки зору точності результатів?



26. В якому з елементів $a \dots z$ граничні умови застосовано не вірно? Поясніть, чому і наведіть вірний варіант.



27. Призначення властивостей матеріалу, побудова залежностей одних властивостей від інших (наприклад, теплопровідності від температури, напруження від деформації і т. ін.).

28. Розглядається наступний розрахунковий випадок: в моделі присутні елементи з нульовою жорсткістю ($E=0$). Чи є можливим такий варіант з точки зору МКЕ? Поясніть, чому та наведіть приклад

29. Розглядається наступний розрахунковий випадок: в моделі присутні елементи з нескінченною жорсткістю ($E=\infty$). Чи є можливим такий варіант з точки зору МКЕ? Поясніть, чому та наведіть приклад

30. Типи навантажень: локальні, розподілені, об'ємні, теплові, механічні і т. ін..

31. Способи призначення навантажень і закріплень: до примітивів кінцеве-елементної моделі (вузлів та елементів) або до геометричних примітивів (точок, ліній, поверхонь, об'ємів).

32. Що може спричинити нелінійність розрахункової моделі?

33. Особливості та порядок виконання розрахунку напружено-деформованого стану конструкції.

34. Особливості та порядок виконання розрахунку теплового стану конструкції.

35. Особливості та порядок виконання частотного аналізу конструкції.

36. Особливості та порядок виконання нелінійного аналізу конструкції.

37. Особливості та порядок розрахунку контактної задачі.

38. Особливості та порядок розрахунку конструкції на втрату стійкості.

39. Використання результатів попередньо виконаного розрахунку, як навантажень у поточному аналізі.

40. Поняття ортотропії та анізотропії. Завдання властивостей подібних матеріалів.

Модуль 2

Змістовий модуль 2

1. Спрощення геометрії під час створення розрахункових моделей.
2. Можливі припущення у тепловому та міцнісному аналізі дисків компресорів і турбін, лопаток турбін.
3. Особливості побудови розрахункової моделі тіла обертання у тривимірній постановці: типи елементів, геометрія, орієнтація відносно системи координат.
4. Особливості побудови розрахункової моделі тіла обертання у пласкій постановці: типи елементів, геометрія, орієнтація відносно системи координат.
5. Особливості побудови та підготовки розрахункової моделі тіла обертання у цикло-симетричній постановці: типи елементів, геометрія, орієнтація відносно системи координат.
6. Від'ємності умов кріплення для різних типів розрахункових моделей тіл обертання (на прикладі диска).
7. Типи граничних умов для виконання теплового аналізу конструкції. Чим зумовлений вибір запропонованого типу?
8. Основні залежності для розрахунку граничних умов у тепловому аналізі конструкції (на прикладі диска або лопатки турбіни).
9. Тип елементів, що застосовують для пласкій моделі у тепловому та міцнісному

аналізах конструкції.

10. Призначення залежності фізичних властивостей матеріалу від температури у програмному комплексі ANSYS – як програма розуміє та використовує подібну залежність?

11. Зв'язок умов навантаження деталей ГТД з узагальненим польотним циклом у програмному комплексі ANSYS.

12. Особливості підготовки та виконання розрахунку теплового стану конструкції у стаціонарній постановці.

13. Особливості підготовки та виконання розрахунку теплового стану конструкції у не-стаціонарній постановці.

14. Особливості підготовки та проведення розрахунку термонапруженого стану конструкції у стаціонарній постановці.

15. Можливі способи визначення термонапруженого стану конструкції у нестационарній постановці.

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
Модуль 1			
Змістовний модуль 1			
Робота на лекціях	0...1	8	0...8
Виконання і захист лабораторних (практичних) робіт	4...6	8	32...48
Модульний контроль	28...44	1	28...44
Усього за семестр 1			60...100
Модуль 2			
Змістовний модуль 2			
Робота на лекціях	0...1	0	0
Виконання і захист лабораторних (практичних) робіт	1...2	8	8...16
Модульний контроль	28...44	1	28...44
Виконання і захист КР	24...40	1	24...40
Усього за семестр 2			60...100

Семестровий контроль (залік/диференційний залік) проводиться у разі відмови студента від балів поточного тестування й за наявності допуску до будь якого з заліків. Допуск до заліків надається за умов відпрацювання та здачі усіх практичних робіт, а також виконання та успішного захисту курсової роботи.

Під час складання семестрового заліку студент має можливість отримати максимум 100 балів.

Білет для заліків складається з трьох теоретичних запитань та одного практичного завдання. Питання по білетах між семестрами 1 і 2 розподілені таким чином:

12.2. Розподіл питань у білетах заліків

Семестр	1-й	2-й
Тип контролю	Залік	Диференційний залік
Теоретичні запитання (перше, друге, третє)	Змістовий модуль 1	Змістовий модуль 2
Четверте запитання	Тематика практичних занять	Тематика курсової роботи

Курсова робота стосується аналізу термонапруженого стану диска турбіни в умовах польотного циклу і надається у вигляді полів температури та напруження у перетині диску, а також у вигляді графіків зміни температури та напруження у критичних точках диску під час польоту. Наведені результати необхідно проаналізувати та сформулювати пропозиції щодо поліпшення термонапруженого стану конструкції.

Максимальна кількість балів за кожне запитання – 25.

12.3. Якісні критерії оцінювання

Для одержання позитивної оцінки студент повинен

знати:

- основи методу кінцевих елементів;
- рекомендації щодо побудови якісної сітки кінцевих елементів;
- основні правила обмеження ступенів свободи та/або навантаження розрахункової моделі;
- принципи та порядок виконання різних типів інженерних розрахунків методом кінцевих елементів в програмному пакеті ANSYS;

вміти:

- створювати розрахункові моделі деталей і вузлів АД та ЕУ на базі балочних, оболонкових, тримірних елементів або їх комбінації для виконання інженерних розрахунків у програмному пакеті ANSYS;
- виконувати розрахунки двовимірної та тривимірної температурної та напруженого стану деталей із використанням відповідних програмних засобів;
- проводити частотний аналіз конструкції та аналіз на втрату стійкості;
- виконувати критичний аналіз отриманих результатів щодо їх достовірності, тобто теорії або реального фізичного експерименту;
- самостійно визначати в складній конструкції зони «інтересу» для проведення подальшого аналізу відповідно до поставленої задачі;
- виконувати порівняльну оцінку існуючих конструкцій, пропонувати шляхи їх вдосконалення за результатами виконаних розрахунків.

12.4. Критерії оцінювання роботи студента протягом семестру

Задовільно (60-74). Мати необхідний мінімум знань та умінь. Відпрацювати та захистити всі практичні заняття. Виконати та захистити індивідуальне завдання (курсову роботу). Здати модульне тестування з позитивною оцінкою. Знати, які типи інженерних задач можуть бути вирішені програмними продуктами на базі методу кінцевих елементів. Знати основну ідею методу кінцевих елементів. Розуміти різницю між елементами та вузлами. Орієнтуватися у інтерфейсі програмного продукту ANSYS та вміти пояснити, для чого призначені різні вікна та різні процесори програми. Бути спроможним виконувати прості міцнісні та теплові розрахунки окремих деталей типу балка або пластина за допомогою рекомендацій з навчальних посібників.

Добре (75-89). Твердо опанувати мінімум знань та умінь. Відпрацювати та захистити всі практичні заняття. Виконати та добре захистити індивідуальне завдання. Здати модульне тестування з позитивною оцінкою. Знати хто або що сприяв розвиненню метода кінцевих елементів. Знати чим відрізняються елементи першого та другого порядків. Вміти самостійно налагоджувати прості моделі (типу балки, пластини тощо) до виконання усіх типів стаціонарних розрахунків, розглянутих у змістових модулях. Бути спроможним надавати оцінку вірності отриманих результатів – чи не протирічають вони теорії. Знати, що призводить до появи помилок у результатах розрахунків та розуміти їхнє чисельне співвідношення.

Відмінно (90-100). Відпрацювати та захистити всі лабораторні та практичні роботи. Виконати та добре або відмінно захистити індивідуальне завдання. Здати модульне тестування з відмінною оцінкою (припускається здати один з двох модулів з оцінкою «добре» і кількістю балів не менше 80). Повно знати основний та додатковий матеріал. Вміти робити вибір між елементами першого та другого порядків в залежності від отриманої задачі. Вміти

самостійно налагоджувати складні моделі, у тому числі і складових вузлів з декількох окремих деталей, до виконання усіх типів стаціонарних та нестаціонарних розрахунків, розглянутих у змістових модулях. Розуміти різницю між окремими типами контактних граничних умов і вміти налагоджувати їх властивості. Вміти пояснювати та аналізувати отримані результати, розрізняти у них механічні та методологічні помилки підготовки розрахункової моделі. Пояснювати фізику симульованих процесів та пропонувати заходи з оптимізації моделі щодо її «полегшення», тобто зменшення часу на підготовку та розрахункового часу, а також щодо підвищення точності результатів симулювання.

Шкала оцінювання: національна та ECTS

Сума балів за всі види навчальної діяльності	Оцінка за національною шкалою	
	Для іспиту	Для заліку
90-100	Відмінно	Зараховано
75-89	Добре	
60-74	Задовільно	
01-59	Незадовільно	Не зараховано

13. Методичне забезпечення

1. <https://mentor.khai.edu/course/view.php?id=2785>.
2. Методичні розробки каф. 203 з методиками розрахунків та варіантами завдань.

14. Рекомендована література

Базова

1. ANSYS Mechanical User's Guide

Допоміжна

2. Опір матеріалів: підручник / Г. С. Писаренко, О. Л. Квітка, Е. С. Уманський [та інші]. – 2-ге вид., допов. і переробл. – К. : Вища шк., 2004. – 655 с.

15. Інформаційні ресурси

1. Розрахункові та контрольні програми ПЕОМ: **ANSYS STUDENT** (<https://www.ansys.com/academic/students/ansys-student>).
2. Файли та інтернет ресурси довідкової системи програмного комплексу ANSYS.