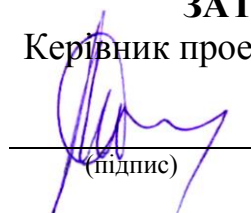


Міністерство освіти і науки України
Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут»

Кафедра конструкції авіаційних двигунів (№ 203)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Керівник проектної групи


(підпис)

О. В. Білогуб
(ініціали та прізвище)

«_____» _____ 2019 р.

РОБОЧА ПРОГРАМА *ВИБІРКОВОЇ* НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

КОНСТРУКЦІЯ, ДИНАМІКА ТА МІЦНІСТЬ АД ТА ЕУ (КП)

(назва навчальної дисципліни)

Галузь знань

13 «Механічна інженерія»

(шифр і найменування галузі знань)

Спеціальність

134 «Авіаційна та ракетно-космічна техніка»

(код та найменування спеціальності)

Освітня програма

Авіаційні двигуни та енергетичні установки

(найменування спеціальності)

Форма навчання

денна


Рівень вищої освіти

перший (бакалаврський)

Харків 2019 рік


Робоча програма Конструкція, динаміка та міцність АД та ЕУ (КП)
(назва дисципліни)
для студентів за спеціальністю 134 «Авіаційна та ракетно-космічна техніка»
освітньою програмою Авіаційні двигуни та енергетичні установки

« 1 » червня 2019 р., 7 с.

Розробник: Гаркуша Олександр Іванович, к.т.н., доцент
(прізвище та ініціали, посада, наукова ступінь та вчене звання) 
(підпис)

Робочу програму розглянуто на засіданні кафедри
конструкції авіаційних двигунів
(назва кафедри)

Протокол № 1 від « 30 » серпня 2019 р.

Завідувач кафедри д.т.н., професор
(наукова ступінь та вчене звання) 
(підпис) С. В. Єніфанов
(ініціали та прізвище)

1. Опис навчальної дисципліни

Найменування показників	Галузь знань, напрям підготовки (спеціальність, спеціалізація), рівень вищої освіти	Характеристика навчальної дисципліни	
		денна форма навчання	
Кількість кредитів – (У ²) – 2; (ІНУМ ³) – 2	Галузь знань: 13 «Механічна інженерія» (шифр і назва)	Цикл професійної підготовки (Дисципліна вільного вибору студента)	
	Спеціальність 134 «Авіаційна та ракетно-космічна техніка» (шифр і назва)	Навчальний рік 2019 / 2020	
Індивідуальне завдання «Розрахунок навантаження на радіально упорний підшипник. Розвантаження підшипника» (назва)		Семестр 8-й група	
	Загальна кількість годин – (У) – 24* / 60; (ІНУМ) – 24* / 60.	Освітня програма Авіаційні двигуни та енергетичні установки (шифр і назва)	242, 222ст_2, 232ст ^(У)
Кількість тижневих годин для денної форми навчання: аудиторних – (У); (ІНУМ) – 1,5 самостійної роботи студента – 2,25		Рівень вищої освіти <u>перший (бакалаврський)</u>	Лекції ¹⁾
	-		-
	Практичні, семінарські *		
	24 год.		24 год
	Лабораторні *		
	-		-
	Самостійна робота		
	36 год.		36 год.
Вид контролю			
диф. залік	диф. залік		

Співвідношення кількості годин аудиторних занять до самостійної роботи становить:

для денної форми навчання –

(У²) – 24/60

(ІНУМ³) – 24/60

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

2) У – для студентів, що навчаються українською мовою 1,4 роки.

3) ІНУМ – для студентів-іноземців, що навчаються українською мовою.

2. Мета та завдання навчальної дисципліни

Мета вивчення: надбання студентами знань з конструкції авіадвигунів. Вирішується задача формування у студентів початкових уявлень про моделі міцносної надійності елементів АД на підставі попередньо вивчених теоретичних курсів “Теоретична механіка”, “Механіка матеріалів та конструкцій”, “Основи проектування об’єктів АКТ” з одночасним вивченням конструкції АД та ЕУ.

Завдання: вивчити теоретичний курс, виконати практичні роботи і курсовий проект «Компресор ГТД».

Результати навчання:

У результаті вивчення навчальної дисципліни студент повинен

знати:

- конструкцію авіаційних ГТД усіх типів, які призначаються для дозвукових та надзвукових авіаційних літальних апаратів, вимоги до двигунів різного призначення, вимоги норм льотної придатності, конструкцію вузлів та деталей цих двигунів;
- навантаження (статичні і динамічні), які діють на елементи ГТД, методи розрахунків на міцність деталей ГТД, конструкційні матеріали, які використовуються у двигунах, норми міцності;
- методи визначення та аналізу сил вимушених коливань та сил демпфування, визначення резонансних режимів роботи двигуна, інженерні засоби боротьби з резонансами;
- з позиції користувача ПЕОМ – сучасний стан САПР - Д і перспективи його розвитку.

вміти:

- конструювати компресор ГТД, обґрунтовувати технічні рішення спроектованих вузлів;
- виконувати порівняльну оцінку існуючих конструкцій та накреслювати шляхи їх вдосконалення;
- виконувати креслення розрізів загальних видів вузлів, креслення деталей згідно ЄСКД;
- виконувати розрахунки з міцності та коливань конструктивних елементів компресора двигуна, робити висновки з розрахунків та рекомендації про усунення недоліків конструкції, які виявлено розрахунками;
- користуватися ПЕОМ (складати нові та модифікувати існуючі алгоритми та програми розрахунків).

Міждисциплінарні зв'язки: інженерне матеріалознавство, авіаційне матеріалознавство, деталі машин та основи конструювання, механіка матеріалів та конструкцій, технології конструкційних матеріалів, загальний устрій авіаційних двигунів і енергетичних установок.

3. Програма навчальної дисципліни

Модуль 1

Змістовий модуль 1.

ТЕМА 1. Розрахунок робочих лопаток компресорів на статичну міцність, основні припущення. Розрахункові режими для оцінки статичної міцності робочих лопаток компресорів. Оцінка міцності пера робочої лопатки.

ТЕМА 2. Навантаження, що діють на диск компресора ГТД. Основні припущення під час оцінки статичної міцності диска. Визначення контурного розподіленого навантаження на ободі диску. Оцінка міцності диска за запасом статичної міцності.

ТЕМА 3. Коливання лопаток компресорів. Власні і зв'язані коливання робочих лопаток. Форми власних коливань робочих лопаток. Розрахунок частот власних коливань робочих лопаток. Побудова частотної діаграми. Резонансні режими.

Модульний контроль

Модуль 2

Змістовий модуль 2

ТЕМА 4. Розробка конструкції компресора двигуна за прототипом. Виконання креслень повздовжнього розрізу компресора двигуна.

ТЕМА 5 Оформлення пояснювальної записки
Модульний контроль

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
Модуль 1					
Змістовий модуль 1					
ТЕМА 1. Розрахунок робочих лопаток компресорів на статичну міцність, основні припущення. Розрахункові режими для оцінки статичної міцності робочих лопаток компресорів. Оцінка міцності пера робочої лопатки.	10	-	6	-	4
ТЕМА 2. Навантаження, що діють на диск компресора ГТД. Основні припущення під час оцінки статичної міцності диска. Визначення контурного розподіленого навантаження на ободі диску. Оцінка міцності диска за запасом статичної міцності.	12	-	6	-	6
ТЕМА 3. Коливання лопаток компресорів. Власні і зв'язані коливання робочих лопаток. Форми власних коливань робочих лопаток. Розрахунок частот власних коливань робочих лопаток. Побудова частотної діаграми. Резонансні режими.	11	-	5	-	6
Модульний контроль	1		1		
Усього годин за змістовим модулем 1	34		18		16
Модуль 2					
Змістовий модуль 2					
ТЕМА 4. Розробка конструкції компресора двигуна за прототипом. Виконання креслень повздовжнього розрізу компресора двигуна.	15		5	-	10
ТЕМА 5. Оформлення пояснювальної записки	10		-	-	10
Модульний контроль	1		1		
Усього годин за змістовим модулем 2	26		6		20
Усього годин у семестрі	60		24		36

5. Теми практичних занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1	Розрахунок робочих лопаток компресорів на статичну міцність, основні припущення. Розрахункові режими для оцінки статичної міцності робочих лопаток компресорів. Оцінка міцності пера робочої лопатки.	6
2	Навантаження, що діють на диск компресора ГТД. Основні припущення під час оцінки статичної міцності диска. Визначення контурного розподіленого навантаження на ободі диску. Оцінка міцності диска за запасом статичної міцності.	6
3	Коливання лопаток компресорів. Власні і зв'язані коливання робочих лопаток. Форми власних коливань робочих лопаток. Розрахунок частот власних коливань робочих лопаток. Побудова частотної діаграми. Резонансні режими.	6
4	Розробка конструкції компресора двигуна за прототипом. Виконання креслень повздовжнього розрізу компресора двигуна.	6
	Разом	24

6. Самостійна робота

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1	Розрахунок робочих лопаток компресорів на статичну міцність.	4
2	Визначення контурного розподіленого навантаження на ободі диску. Оцінка міцності диска за запасом статичної міцності.	6
3	Розрахунок частот власних коливань робочих лопаток. Побудова частотної діаграми.	6
4	Виконання креслень повздовжнього розрізу компресора двигуна.	10
5	Оформлення пояснювальної записки.	10
	Разом	36

7. Методи навчання

Основні форми навчання:

- практичні роботи;
- індивідуальна самостійна робота студента;
- *диф. залік.*

Проведення практичних робіт базується на словесному (аналітичному) описанні об'єкта (двигуна або вузла) й на матеріальному його відображенні за допомогою спеціальних дидактичних матеріалів (розрізні макети, плакати лабораторні досліджувані установки та ін.). Під час проведення практичних робіт використовується бригадний характер праці студентів.

Основною формою навчання є самостійна робота. До неї не можна приступати без певного багажу знань, які даються на лекції.

При виконанні курсового проекту здійснюється практичне застосування одержаних знань з теоретичного матеріалу по курсу «Конструкція і проектування АД та ЕУ», будова конструкції компресора ГТД та розрахунок на міцність і коливання деталей ГТД.

Питання для самостійної роботи студентів

1. Призначення компресорів ГТД. Основні конструктивні параметри компресорів.
2. Вимоги до конструкції компресора ГТД, шляхи їх реалізації. Класифікація, порівняльна оцінка й галузі використання компресорів різних типів.
3. Конструктивні схеми осьових компресорів. Конструкція роторів осьових компресорів.
4. Робочі лопатки компресорів, вимоги до них. Кріплення робочих лопаток до ротора.
5. Навантаження, що діють на ротор осьового компресора. Осьові газодинамічні сили, які діють на ротор осьового компресора.
6. Засоби зниження осьової сили, яка діє на радіально-упорний підшипник компресора.
7. Конструкція статорів осьових компресорів. Проміжки проміж ротором і статором в осьовому компресорі.
8. Ущільнення проточної частини. Витратні й безвитратні ущільнення.
9. Конструктивні заходи з підвищення газодинамічної стійкості осьового компресора.
10. Конструкційні матеріали, що використовуються для виготовлення осьових компресорів ГТД.
11. Навантаження, що діють на робочі лопатки компресорів ГТД. Мета розрахунку лопаток на статичну міцність, основні припущення.
12. Розрахункові режими для оцінки статичної міцності робочих лопаток компресорів. Система координат і правило знаків.
13. Визначення напружень розтягування пера робочої лопатки від дії відцентрових сил.
14. Кручення пера робочої лопатки відцентровими силами.
15. Вигин пера робочої лопатки газовими силами.
16. Вигин пера робочої лопатки відцентровими силами.

17. Компенсація вигину пера робочої лопатки від дії газових сил моментом від дії відцентрових сил. Коефіцієнт компенсації.

18. Сумарні напруження в перерізах пера робочої лопатки компресора. Оцінка міцності пера робочої лопатки.

19. Особливості розрахунку на міцність природно закручених лопаток і лопаток з бандажною полицею.

20. Навантаження, що діють на диск компресора ГТД. Основні припущення під час оцінки статичної міцності диска. Визначення контурного розподіленого навантаження на ободі диску.

21. Особливості розрахунку диска з стрілкоподібним змінням товщини.

22. Еквівалентні напруження в диску. Оцінка міцності диска за запасом статичної міцності і за руйнуючими оборотами.

23. Коливання лопаток компресорів. Власні і зв'язані коливання робочих лопаток. Форми власних коливань робочих лопаток.

24. Розрахунок частот власних коливань робочих лопаток. Побудова частотної діаграми. Резонансні режими.

8. Методи контролю

Матеріал дисципліни розбито на два змістовних модулів:

1. Конструктивно-компоновочні схеми компресорів ГТД. Розрахунки на міцність лопаток компресорів та турбін. Розрахунок напружень в диску довільного профілю методом кінцевих різниць. Аналіз напружено-деформованого стану диска. Розрахунок частот власних коливань робочих лопаток. Побудова частотної діаграми. Резонансні режими.

2. Розробка конструкції компресора двигуна за прототипом. Виконання креслень повздовжнього розрізу компресора двигуна.

Складання модулю 1 – на 8-му тижні (один раз), складання модулю 2 – на 14-му тижні (один раз).

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

Оформлення практичних робіт – *письмово*, захист – *усно*.

Строк захисту курсового проекту – 14-й тиждень. Затримка захисту курсового проекту на тиждень – мінус 5 балів, на 2 тижні – мінус 10 балів

Семестр 8 – *диф. залік*

9. Критерії оцінювання та розподіл балів, які отримують студенти

9.1 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			
Виконання і захист практичних робіт	2...3	9	18...27
Модульний контроль	6...13	1	6...13
Модуль 2			
Змістовний модуль 2			
Виконання і захист практичних робіт	2...3	3	6...9
Модульний контроль	6...11	1	6...11
Захист курсового проекту	24...40	1	24...40
Усього за семестр			60...100

Семестровий контроль (залік) проводиться у разі відмови студента від балів поточного тестування й за наявності допуску до заліку. Допуск до заліку надається за умов відпрацювання та здачі усіх практичних робіт, а також виконання курсового проекту.

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

Білет для заліку складається з трьох запитань. Запитання розподілено таким чином:

Перше запитання – теоретичне запитання (змістовий модуль 1);

Друге запитання – запитання з конструкції АД (змістовий модуль 1);

Третє запитання – змістовий модуль 2.

Додаткове запитання стосується аналізу впливу конструкційних і експлуатаційних факторів на напружено-деформований стан деталей ГТД (змістовий модуль 1).

Максимальна кількість балів за кожне запитання – 25.

9.2 Якісні критерії оцінювання

Для одержання позитивної оцінки студент повинен

знати:

- конструкцію авіаційних ГТД усіх типів, які призначаються для дозвукових та надзвукових авіаційних літальних апаратів, вимоги до двигунів різного призначення, конструкцію вузлів цих двигунів та деталей;
- порядок проектування авіаційного двигуна;
- конструкцію вузлів і деталей компресора двигуна, проблеми, що виникають під час їх експлуатації;
- статичні і динамічні навантаження, які діють на елементи ГТД;
- методи розрахунків основних деталей компресора двигуна на міцність (лопаток, дисків, замків, валів);
- конструкційні матеріали, які використовуються у компресорі двигуна;

вміти:

- виконувати порівняльну оцінку існуючих конструкцій компресорів двигунів;
- формувати технічні вимоги щодо розробки компресора двигуна для конкретного типу літального апарата;
- обирати конструкційні матеріали, які використовуються у компресорі двигуна;
- виконувати розрахунки основних деталей компресора двигуна на міцність;
- аналізувати вплив конструкційних і експлуатаційних факторів на напружено-деформований стан деталей двигуна.

9.3 Критерії оцінювання роботи студента протягом семестру

Задовільно (60-74). Мати необхідний мінімум знань та умінь. Відпрацювати та захистити всі практичні роботи. Виконати та захистити курсовий проект. Здати модульне тестування з позитивною оцінкою. Мати уяву про конструкцію вузлів і деталей двигуна, проблеми, що виникають під час їх експлуатації; норми міцності; методи розрахунків основних деталей двигуна на міцність (лопаток, дисків, валів); режими роботи двигуна, мати уяву про вплив конструкційних і експлуатаційних факторів на напружено-деформований стан деталей двигуна.

Добре (75-89). Твердо опанувати мінімум знань та умінь. Відпрацювати та захистити всі лабораторні та практичні роботи. Виконати та добре захистити курсовий проект. Здати модульне тестування з позитивною оцінкою. Знати конструкцію вузлів і деталей двигуна, проблеми, що виникають під час їх експлуатації; норми міцності; методи розрахунків основних деталей двигуна на міцність (лопаток, дисків, валів); режими роботи двигуна, зміну навантажень при різних режимах роботи; конструкційні матеріали, які використовуються у двигунах; мати уяву про вплив конструкційних і експлуатаційних факторів на напружено-деформований стан деталей двигуна.

Відмінно (90-100). Відпрацювати та захистити всі практичні роботи. Виконати та добре або відмінно захистити курсовий проект. Здати модульне тестування з відмінною оцінкою (припускається здати один з двох модулів з оцінкою «добре»). Повно знати основний та додатковий матеріал. Знати порядок проектування авіаційного двигуна, конструкцію вузлів і

деталей двигуна, проблеми, що виникають під час їх експлуатації; статичні і динамічні навантаження, які діють на елементи ГТД; норми міцності; методи розрахунків основних деталей двигуна на міцність (лопаток, дисків, валів); режими роботи двигуна, зміну навантажень при різних режимах роботи; конструкційні матеріали, які використовуються у двигунах; вплив конструкційних і експлуатаційних факторів на напружено-деформований стан деталей двигуна.

Шкала оцінювання: національна та ECTS

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

12. Методичне забезпечення

1. Дидактичні матеріали (наочні посібники, плакати, ТЗН).
2. Розрізні макети газотурбінних двигунів в аудиторіях 103 та 124.
3. Повчальні програми з розрахунків міцності лопаток і дисків ГТД.
4. Методичні навчальні посібники за темами та розділами курсу.
5. Повчальна програма з аналізу напружено-деформованого стану диска ГТД.
6. Повчальні програми з розрахунків коливань лопаток

13. Рекомендована література

Базова

1. Скубачевский, Г. С. Авиационные газотурбинные двигатели, конструкция и расчет деталей [Текст] / Г. С. Скубачевский. - М. : Машиностроение, 1981. – 552 с.
2. Конструкция и проектирование авиационных газотурбинных двигателей [Текст] ; под. ред. Д. В. Хронина. - М. : Машиностроение, 1989. – 368 с.
3. Конструкция авиационных двигателей [Текст] / А. В. Штода и др. - М. : изд. ВВИА им. Н. Е. Жуковского, 1968.
4. Гаркуша, А.И. Динамика и прочность деталей газотурбинных двигателей [Текст]: курс лекций / А.И. Гаркуша, В.С. Чигрин. – Х.: Нац.аэрокосм. ун-т «Харьк. авиац. ин-т», 2011. – 131 с.
5. Чигрин, В. С. Экспериментальные и расчетные методы исследования динамики и прочности элементов ГТД [Текст] / В. С. Чигрин, А. И. Гаркуша, Ю. А. Гусев. – Х., Нац. аэрокосм. ун-т им. Н. Е. Жуковского «Харьков. авиац. ин-т». – 2013. – 72 с.

Допоміжна

1. Чигрин, В. С. Конструкция и прочность авиационных двигателей [Текст] : консп. лекций / В. С. Чигрин. – Х. : Нац. аэрокосм. ун-т им. Н. Е. Жуковского «Харьков. авиац. ин-т», Запорожье : изд. АО «МОТОР СИЧ», 2017. - 420 с.
2. Газовые турбины двигателей летательных аппаратов [Текст] / В. И. Локай и др. - М. : Машиностроение, 1979. – 447 с.
3. Пономарев, Б. А. Настоящее и будущее авиационных двигателей [Текст] / Б. А. Пономарев - М. : Воениздат, 1982. – 240 с.
4. Технические описания авиационных газотурбинных двигателей.

14. Інформаційні ресурси

Електронні посібники по лабораторним заняттям, креслення поздовжніх розрізів ГТД та конспект лекцій «Динаміка деталей газотурбінних двигунів».